

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Estimulador vibro-táctil para terapia de lenguaje

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Roberto Chaves García

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

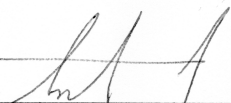
PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN


**Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado Estimulador Vibro-táctil para terapia de lenguaje, realizado por el señor Roberto Steven Chaves García y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador


Ing. Leonardo Sandoval Cascante

Profesor lector


Ing. Juan S. Chaves Noguera

Profesor asesor

Cartago, 29 de Noviembre de 2017


Declaro que el diseño de este Proyecto de Graduación y la documentación ha sido realizada por mi persona, con la ayuda de literatura de apoyo referente a varios temas de importancia para su avance y utilizando el conocimiento propio acarreado por el tiempo en la carrera.

Cuando se utilizan fuentes bibliográficas para citar o solamente para referencias, esta se coloca en la respectiva bibliografía. Ergo, asumo la responsabilidad de este trabajo de graduación y su correspondiente informe final.

Roberto Chaves García

Cartago, 1 de diciembre de 2017

Céd: 7-0239-0666

Firma:  _____

Resumen

Las personas que tienen incapacidad de escucha, pierden paulatinamente su habla, por esto se crean métodos para mejorar la comunicación de estas personas desde la Terapia de Lenguaje, con la debida terapia se cambia el sentido auditivo por el sentido del tacto, esto se realiza transformando el sonido en vibraciones lo suficientemente fuertes para que el usuario pueda entender lo que pasa en esta. La herramienta para que puedan brindar esta terapia deberá realizar esto, de manera que con el tiempo de uso, se pueda cambiar con actuadores que porten día a día y permitan un desempeño estable.

Palabras clave: Lenguaje, Terapia, Vibración, Escucha, Sordera

Abstract

People who are unable to listen, gradually lose their speech, for this are created methods to improve the communication of these people from the Language Therapy, with the appropriate therapy, the auditory sense is changed by the sense of touch, this is done by transforming the sound in vibrations strong enough so that the user can understand what happens in this. The tool that can provide this therapy must do this, so that with the time of use, can be changed with actuators that daily carry and allow stable performance.

Keywords: Language, Therapy, Vibration, Listening, Deafness.

A mis queridos padres

Agradecimientos

El resultado de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de los profesores de la escuela de Ing. Electrónica, al favor de Dios para continuar día a día y la ayuda de la familia cercana, que han estado durante estos 5 años de carrera.

Además quiero agradecer en concreto al Señor Carlos Cordero por permitirme realizar este proyecto, a mi madre Susana García Barboza por todas las palabras de aliento, a mis amigos y pareja que ayudaron de alguna manera y a la escuela por brindar gran parte de las herramientas de mi aprendizaje.

Roberto Chaves García

Cartago, 5 de diciembre de 2017

Índice general

Índice de figuras	iii
Índice de tablas	v
1 Introducción	1
1.1 Entorno	1
1.2 Problema existente	1
1.2.1 Síntesis del problema	2
1.3 Solución seleccionada	2
1.3.1 Funcionamiento general	2
1.3.2 Funcionamiento del Firmware	3
1.3.3 Función del programa de computadora	3
1.4 Estructura del documento	5
2 Meta y Objetivos	7
2.1 Meta	7
2.2 Objetivo general	7
2.3 Objetivos específicos	7
3 Marco Teórico	9
3.1 Sentido de la escucha y el tacto	9
3.1.1 Escucha	9
3.1.2 Tacto	13
3.2 Sordera	13
3.3 Terapia de Lenguaje	14
3.3.1 Objetivos	15
3.3.2 Desarrollo del lenguaje	15
3.3.3 Alteraciones generales del lenguaje	15
3.4 Estimuladores Vibro-táctiles	16
3.5 Filtración Digital	16
3.5.1 Filtros FIR	17
3.5.2 Filtros IIR	17
3.6 Descripción del software utilizado	18
3.6.1 Altium Designer	18
3.6.2 Simplicity Studio	19

3.6.3	NI Labview 2017	20
4	Procedimiento y Metodología	21
4.1	Reconocimiento y definición del problema	21
4.2	Obtención y análisis de información	21
4.3	Evaluación de alternativas y síntesis de una solución	22
4.4	Implementación de la solución	22
4.4.1	Creación del PCB	23
4.4.2	Programación del firmware	23
4.4.3	Programa de computadora	23
4.5	Reevaluación y rediseños	24
4.5.1	Reevaluación	24
4.5.2	Rediseño 1	24
4.5.3	Rediseño 2	24
4.5.4	Rediseño 3	24
4.5.5	Rediseño 4	24
4.5.6	Rediseño 5	25
4.5.7	Rediseño 6	25
5	Estimulador Vibro Táctil	27
5.1	Descripción del Hardware	27
5.1.1	Diseño esquemático	29
5.1.2	Diseño PCB	33
5.1.3	Diseño del Firmware	36
5.2	Descripción del Software	42
5.2.1	Definición de bandas	43
5.2.2	Filtrado	43
5.2.3	Preparación del mensaje	44
5.2.4	Apertura del puerto	45
5.2.5	Cierre y finalización	45
6	Resultados y Análisis	47
6.1	Resultados	47
6.1.1	Del Software	47
6.1.2	Del Hardware	50
6.2	Análisis	56
6.2.1	Del Software	56
6.2.2	Del Hardware	57
7	Conclusiones y recomendaciones	59
7.1	Conclusiones	59
7.2	Recomendaciones	59
	Bibliografía	61

Índice de figuras

1.1	Diagrama de bloques.	2
1.2	Diagrama de bloques del firmware.	3
1.3	Diagrama de bloques del programa de computadora.	4
3.1	Diagrama del oído completo.	9
3.2	Diagrama del oído externo.	10
3.3	Huesos del oído medio.	11
3.4	Diagrama del oído medio.	11
3.5	Diagrama del oído interno.	12
3.6	Diagrama del Tacto.	13
3.7	Sordera.	14
3.8	Técnicas de la Terapia de Lenguaje.	14
3.9	Diagrama de bloques de los dos tipos de filtros digitales: (a) FIR y (b) IIR. .	16
3.10	Diseño en 3 dimensiones realizado con Altium Designer.	18
3.11	Interfaz del software Simplicity Studio.	19
3.12	Entorno algorítmico NI LabView (Video juego Pong).	20
4.1	Diseño de un PCB con un esbozo de mano en él (Modelo en 3D).	25
5.1	Circuito esquemático completo	29
5.2	Circuito de alimentación	30
5.3	Circuito de aviso de encendido	30
5.4	Circuito de comunicación USB	31
5.5	Circuito del microprocesador	32
5.6	Circuito de amplificación	32
5.7	Visión superior del diseño del PCB	33
5.8	Visión inferior del diseño del PCB	34
5.9	Imagen completa del diseño del PCB	35
5.10	Simulación PWM	39
5.11	Programación completa de la aplicación	42
5.12	Programación para filtro FIR	43
5.13	Preparación del mensaje	44
5.14	Apertura de puerto	45
5.15	Cierre del puerto	45
6.1	Vista principal de la aplicación	47

6.2	Filtro 1: de 250Hz a 800Hz	48
6.3	Filtro 2: de 800Hz a 1350Hz	48
6.4	Filtro 3: de 1350Hz a 1900Hz	49
6.5	Filtro 4: de 1900Hz a 2450Hz	49
6.6	Filtro 5: de 2450Hz a 3000Hz	49
6.7	Cotas en milímetros junto con el PCB.	51
6.8	Visualización en 3 dimensiones del impreso.	51
6.9	Circuito impreso del sistema.	52
6.10	Reporte general del PCB.	52
6.11	Reporte general del Firmware.	53
6.12	Máximo voltaje.	53
6.13	Voltaje de alimentación 3.3V.	54
6.14	Salida intermitente de pines de control.	54
6.15	Salida PWM del microprocesador.	55
6.16	Salida de los amplificadores.	55

Índice de tablas

5.1	Componentes utilizados en el proyecto	28
5.2	División de bandas	43
6.1	Comportamiento de los filtros	50
6.2	Mayor variación de envío de mensaje	50

Capítulo 1

Introducción

1.1 Entorno

Cuando se presenta alguna discapacidad en las personas o se tiene desde que se nace, estas se someten a algún tipo de terapia (de acuerdo a su discapacidad), para lograr introducirse en la población y que se desarrollen de la mejor manera, en este caso particular será terapia de lenguaje, esta es una especialidad que se encarga de la evaluación, diagnóstico y tratamiento de las alteraciones del lenguaje, audio y habla de la persona, también aspectos de la motricidad oral que afectan durante el desarrollo del niño [2].

Este proyecto se centra en una de las secciones de la terapia de lenguaje, la problemática en la adaptación a la población de las personas sordas, normalmente para la comunicación de ellos se utiliza lenguaje a señas, pero esto solo es posible si ambas personas tienen la capacidad de hablar de esta manera, para esto se crean los estimuladores vibro táctiles, creando un simulador del sentido de la escucha con el sentido del tacto.

Hace aproximadamente 20 años se creó un estimulador vibro táctil hecho por Don Carlos Cordero uno de los dueños de la empresa, este solo dividía la señal de la voz en dos bandas y tenía 2 actuadores en forma de tambor (uno en cada mano), este fue donado y hoy día no funciona por la falta de mantenimiento.

1.2 Problema existente

Las personas con sordera en su mayoría no pueden hablar por la falta del oído que su discapacidad aflige, estas personas (nacidas con esta discapacidad o adquirida en algún momento de su vida) no logran comunicarse de manera verbal, por esto se crean métodos de comunicación, ya sea por señas, substituyendo el oído por el tacto o con la lectura de labios, cada una de estas presenta ventajas y desventajas varias. Estas personas tienen una

necesidad de adaptación a la sociedad y lograr ignorar la aflicción de la discapacidad sufrida.

Cuando estas personas se encuentran en un grupo en el que no hay ninguna otra que domine su comunicación, se pierde el lazo y sin quererlo quedan apartadas del grupo, este lazo es muy importante para el ser humano por su instinto social primitivo, este como ejemplo dado en una persona madura, ahora, en la infancia este mismo ejemplo acarrea problemas psicológicos y sociales.

1.2.1 Síntesis del problema

¿Cómo solventar la necesidad de un sistema para estimular a la persona con discapacidad y que ayude a su aprendizaje de entonación, para comunicarse de mejor manera?

1.3 Solución seleccionada

Para ayudar a “intercambiar” el sentido de la escucha por el tacto, se necesitan actuadores vibratorios en la parte de los dedos, estos vibrarán dependiendo de la banda en la que se hable, enviando señales lo suficientemente sensibles para el usuario.

El dispositivo tendrá forma de mano en 2 dimensiones donde se coloque la mano del niño, recibirá la señal desde el micrófono de la computadora y cambiará su vibración entre los distintos dedos de la mano, filtrando las bandas basado en los límites de habla del humano común.

1.3.1 Funcionamiento general

El sistema obtiene la señal por la entrada de audio de la computadora (Micrófono), esta pasa a un programa de computadora en el que se filtra la señal en bandas entre los 250 Hz y los 3000 KHz, que es el espectro en el que fluctúan las voces humanas, esto se procesa para ser traducido en los vibradores, tomando en cuenta las magnitudes de lo filtrado, como se ve en la figura 1.1.

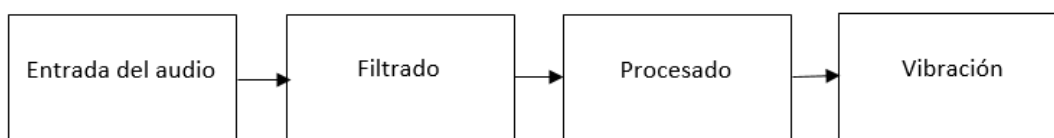


Figura 1.1: Diagrama de bloques.

1.3.2 Funcionamiento del Firmware

El firmware de la parte que se conecta al computador obtiene la información por medio del USB, esta información ya viene filtrada y se debe traducir para terminar activando los PWM de cada uno de los 5 dedos.

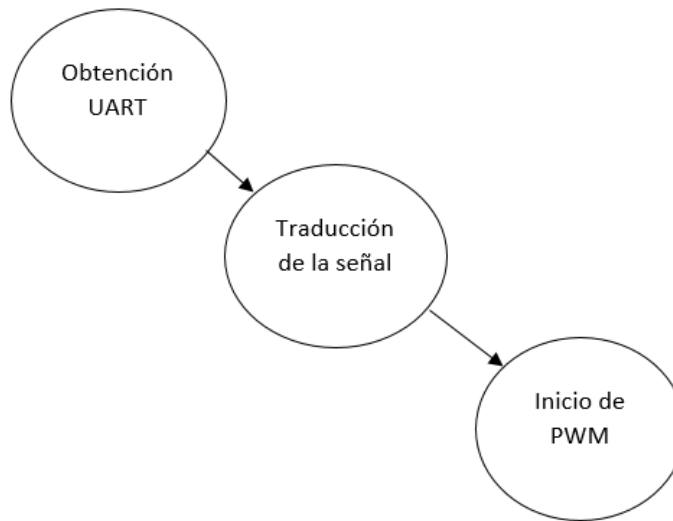


Figura 1.2: Diagrama de bloques del firmware.

1.3.3 Función del programa de computadora

Para el programa de computadora se inicia con la adquisición del micrófono, esta señal pasa al filtrado primero por un filtro que limita la banda de escucha de una persona, luego de esto se pasa al filtrado de las 5 bandas y se procesa para empaquetar los datos al hardware y se envía por el USB.

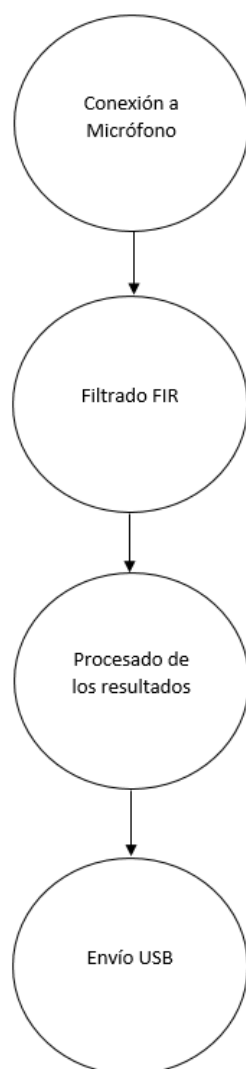


Figura 1.3: Diagrama de bloques del programa de computadora.

1.4 Estructura del documento

En este capítulo se introduce el proyecto completo, en el siguiente capítulo se hablará de la meta y objetivos del proyecto, en el tercer capítulo se planteará el marco teórico, en el cuarto se hablará del procedimiento que se sigue para completar el proyecto, el quinto es la descripción completa de la solución de manera exhaustiva, el sexto es el análisis de los resultados obtenidos y el séptimo capítulo habla de las conclusiones y recomendaciones del proyecto completo.

Capítulo 2

Meta y Objetivos

2.1 Meta

Desarrollar un proyecto que cause impacto en la población con discapacidad del país, de modo que este sistema se pueda utilizar en la terapia de las personas y que lleven un estilo de vida más compaginado con la sociedad.

2.2 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema electrónico que ayude en la terapia de lenguaje a las personas sordas.

2.3 Objetivos específicos

-Diseñar un programa de computador para obtener los datos desde el micrófono de este y que los transmita al dispositivo.

-Establecer el algoritmo con el que se trata la señal de entrada para dividirse en 5 bandas, una para cada dedo de la mano y que reaccione a estas.

-Establecer un circuito impreso que contenga la mayoría de los elementos del dispositivo.

-Definir circuito de respuesta a los sonidos con vibración, cuyo impulso sea entendible para la persona tratada.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1 Sentido de la escucha y el tacto

3.1.1 Escucha

El sentido de la escucha es bastante avanzado, su función es transmitir los sonidos al cerebro para que este los interprete, estos sonidos son vibraciones que mediante el proceso de transducción y pasando por todas las partes del oído, hace que se escuche claramente. El oído es un órgano que contiene mecanorreceptores capaces de transformar la energía de un fluido móvil encerrado (aire, agua), en energía de potenciales de acción, estos mecanorreceptores son el asiento del sentido del equilibrio y la audición.[3]

La mejor forma de describir el funcionamiento del oído es explicando cada una de sus partes.

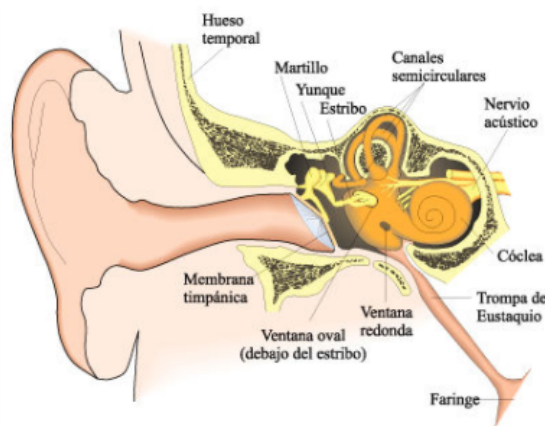


Figura 3.1: Diagrama del oído completo.

Oído externo

En esta parte se recogen las ondas sonoras y se dirigen hacia el interior del oído, tiene forma de embudo con eminencias cartilagosas, se divide en; pabellón auditivo, el conducto auditivo y el tímpano.[8]

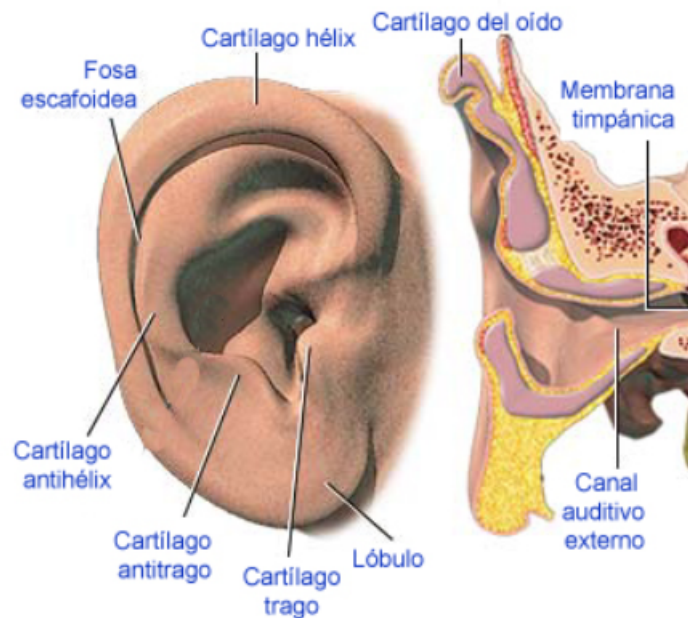


Figura 3.2: Diagrama del oído externo.

Oído medio

Se encuentra entre el tímpano y la ventana oval, por este transitan las vibraciones del sonido y está compuesto de 3 huesos, martillo, yunque y estribo, siendo el martillo el hueso más pequeño del cuerpo.

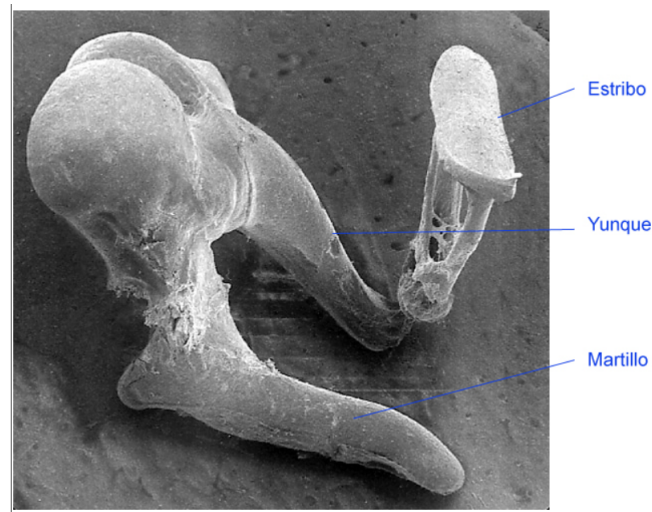


Figura 3.3: Huesos del oído medio.

Se conforma de; los huesos del oído medio, la ventana oval, la ventana redonda y la trompa de Eustaquio.[8]

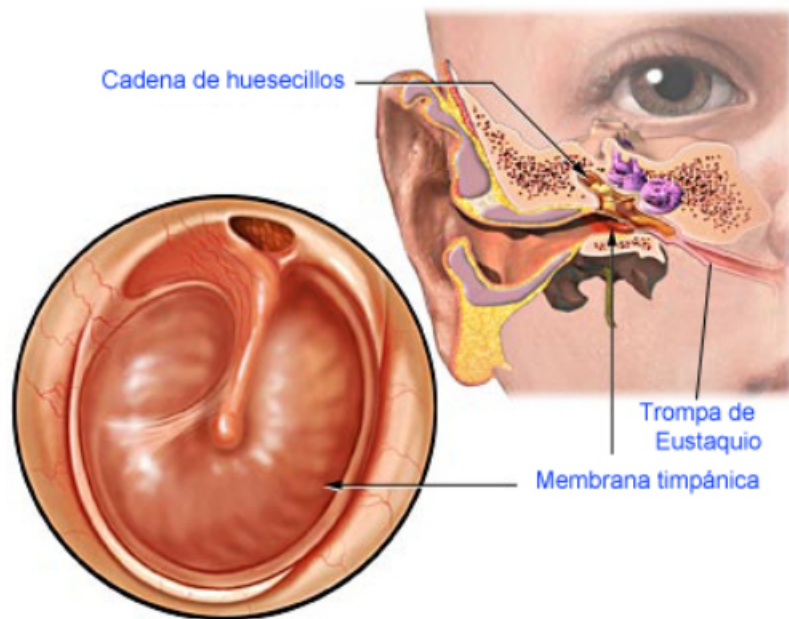


Figura 3.4: Diagrama del oído medio.

Oído interno

Una vez que las vibraciones del tímpano se han transmitido a la ventana oval, las ondas sonoras continúan su camino hacia el oído interno. Este es una intrincada zona de tubos y conductos conocido como laberinto [8], está formado por; la cóclea, nervio auditivo, el vestíbulo (órgano del equilibrio).

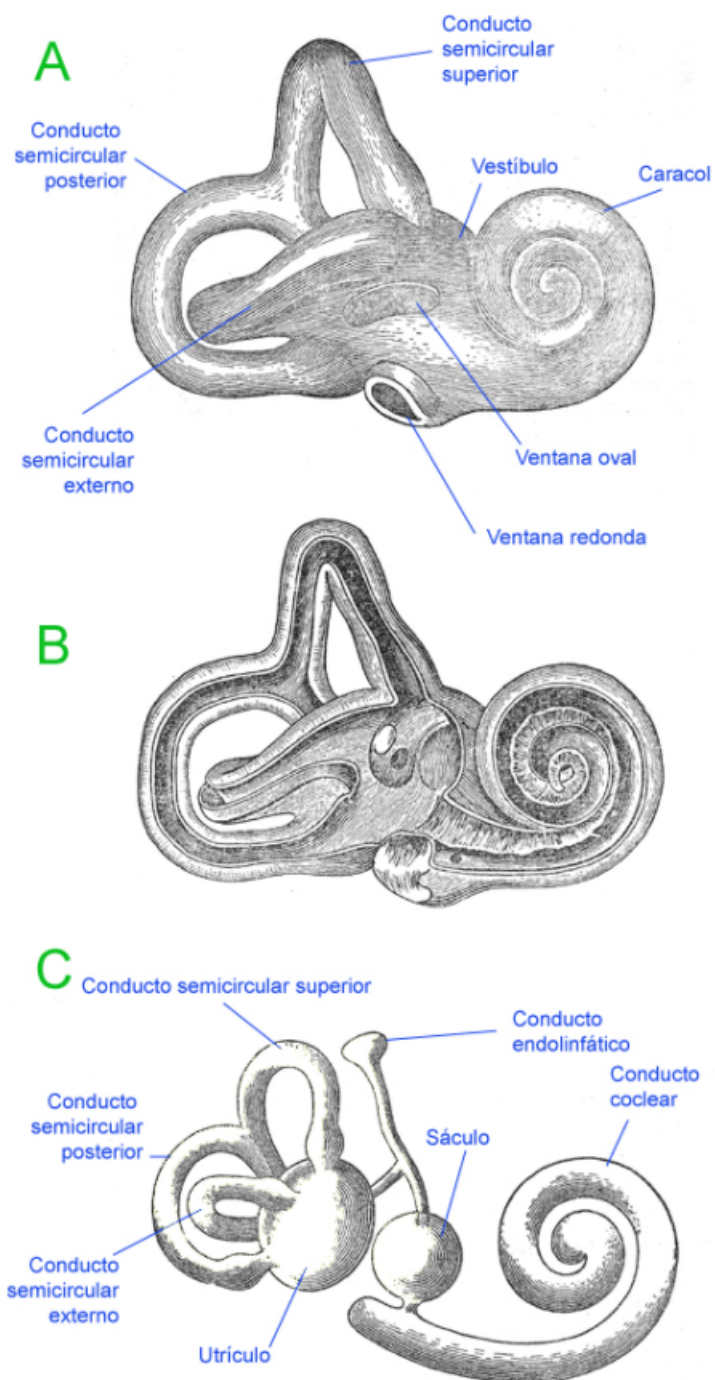


Figura 3.5: Diagrama del oído interno.

3.1.2 Tacto

Es el encargado de la percepción del contacto, presión, temperatura, dolor, entre otros. Su órgano principal es la piel. En su mayoría, las sensaciones son percibidas por los corpúsculos, estos son receptores en cápsulas de tejido entre las capas de piel. Hay varios tipos de corpúsculos, como; Meissner, Pacini, Ruffini y Krause. Cada uno con una función, desde determinar la forma y tamaño de las cosas, hasta la temperatura de lo que se toca, pasando por la distinción de presión y peso.[6]

Las arrugas de las yemas de los dedos y las palmas de las manos forman patrones únicos

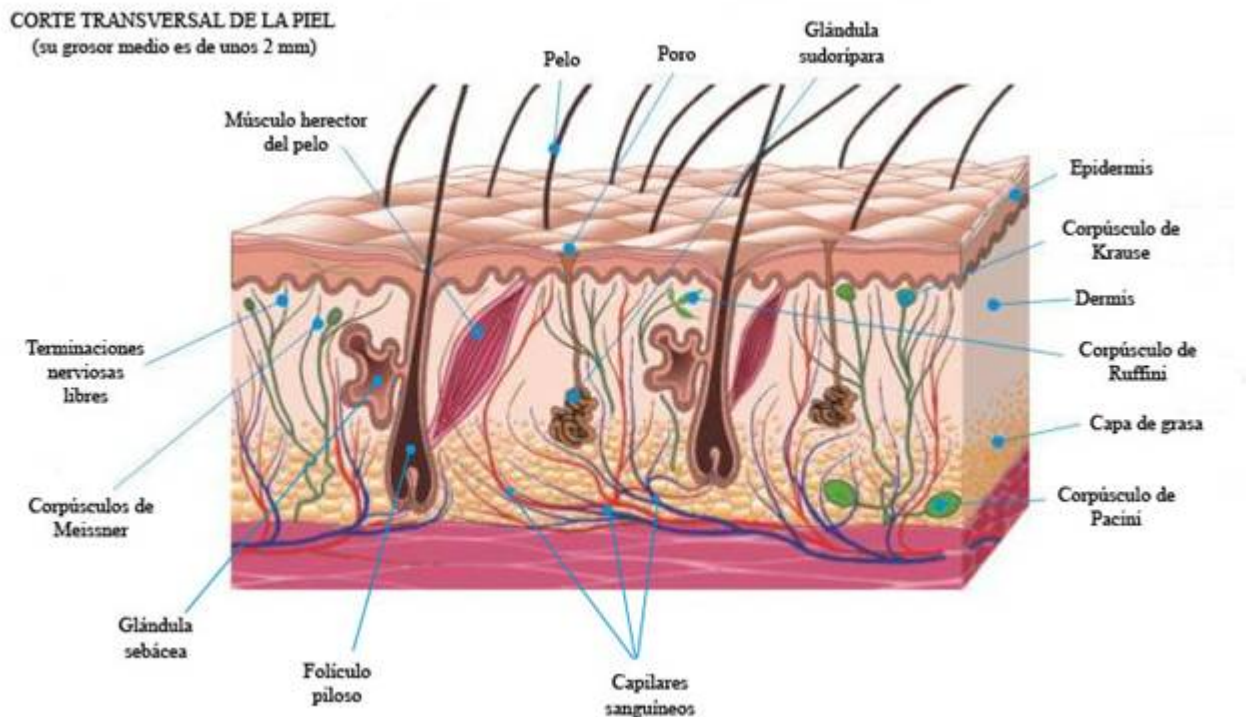


Figura 3.6: Diagrama del Tacto.

en cada persona, por lo que es un método de identificación infalible, pero la naturaleza no nos las proporcionó con ese propósito, sino para ayudar a mejorar la sensibilidad táctil, ya que las arrugas implican más piel y esto conlleva la posibilidad de incluir más receptores en estas zonas clave del cuerpo.[4]

3.2 Sordera

Es un problema que evita de manera parcial o total, que se escuche, puede ser causado por varias cosas, entre ellas; antecedentes familiares, enfermedades como las infecciones de oído o la meningitis, trauma, algunos medicamentos, exposición a ruidos fuertes por mucho tiempo y envejecimiento [16].



Figura 3.7: Sordera.

La sordera no se cura, pero existen tratamiento y técnicas para lidiar con este padecimiento, ya sea con aparatos auditivos, estimuladores y cambio en la técnica de lenguaje.

3.3 Terapia de Lenguaje

Establecer la comunicación lingüística no desarrollada o alterada, en la comunidad desde la infancia, donde se adquieren las bases de la socialización y la construcción de la personalidad. El lenguaje le permite al infante interactuar con las personas que lo rodean, decir lo que piensa, lo que quiere y lo que necesita. Esta herramienta está intrínsecamente relacionada con su desarrollo y crecimiento integral, ya que el lenguaje es un posibilitador de la existencia del pensamiento. [2]



Figura 3.8: Técnicas de la Terapia de Lenguaje.

3.3.1 Objetivos

Las ambiciones de esta especialidad son evaluar, diagnosticar y atender los problemas de lenguaje que aquejan a los niños, promover el desarrollo integral de los estudiantes con problemas de comunicación, fomentar la participación de los padres o encargados del niño para que colaboren con su desarrollo y sean activos con los programas terapéuticos y ofrecer asesoría a padres y docentes de todo lo relacionado con el desarrollo integral del infante. [2]

3.3.2 Desarrollo del lenguaje

El lenguaje se desarrolla notoriamente desde los 2 años con muestras de hasta 1000 palabras y un uso de 200 a 300 palabras, entre los 3 a los 5 años el niño entiende de 2000 a 3000 palabras y tiene un vocabulario expresivo de 500 a 1000 palabras. Los lenguajes que desarrollan son; el lenguaje receptivo que le permite al infante comprender y adquirir el significado de las palabras, el lenguaje expresivo le permite expresarse (valga la redundancia) por medio de gestos, señas o palabras, el lenguaje articulado es la última etapa del desarrollo del lenguaje y se considera como la habilidad de emitir sonidos, fusionarlos y producir sílabas, palabras, frases y oraciones que expresan ideas. [2]

3.3.3 Alteraciones generales del lenguaje

Los niños tienen dificultades cuando no entiende el concepto de la palabra escuchada, no posee un vocabulario lo suficientemente extenso para su edad y esto no le deja expresarse como lo desea, no logra ordenar las ideas que tiene y las expresa en desorden y cuando tiene dificultad con la articulación de sonidos necesarios para el lenguaje.

Estos infantes pueden presentar alteraciones entre las cuales están; problemas de ritmo y velocidad de palabra (disritmias o tartamudez), problemas de articulación de la palabra (dislalia o disartria), en el desarrollo del lenguaje que se pueden clasificar como, leve, moderado y severo.

“Cuando el nivel de desarrollo del habla queda por debajo del de otros niños de la misma edad; en calidad según se pone de manifiesto por el uso y la precisión de las palabras, los niños encuentran obstáculos en sus relaciones sociales. Esto afecta la adaptación social, su proceso de lectura – escritura y tiene efectos perjudiciales sobre los conceptos que tienen de sí mismos”. [2]

3.4 Estimuladores Vibro-táctiles

Son sistemas que complementan o apoyan la señal acústica, haciendo que las personas reciban información auditiva a través de vibraciones percibidas por el sentido del tacto, son entendidas por medio de un entrenamiento (terapia) para identificar sonidos y como apoyo en la discriminación del habla. [5]

Con estos estimuladores se puede complementar el audio del infante, para esto se implementan pequeños dispositivos vibratorios que se colocan en lugares diversos, como la muñeca, normalmente en contacto con huesos o cerca de ellos. Se pueden utilizar en caso de que las prótesis auditivas sean imposibles de implementar por alguna malformación, en estos casos son algún tipo de audífono vibrador que se conecta en los huesos mastoides.

3.5 Filtración Digital

La definición general de un filtro es todo proceso que altera la naturaleza de una señal electrónica de una forma u otra. Un filtro es un proceso computacional o algorítmico mediante el cual una señal digital es transformada en una segunda secuencia de muestras.[7]

El funcionamiento de los filtros digitales es relativamente simple, se distinguen en 2 tipos de funcionamiento que se muestran en la figura 3.9.

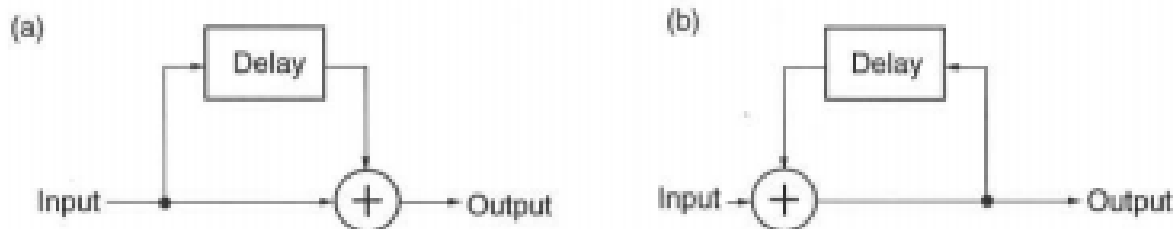


Figura 3.9: Diagrama de bloques de los dos tipos de filtros digitales: (a) FIR y (b) IIR.

- El funcionamiento (a) se basa en el retardo de una copia de la señal de entrada y se combina con la señal de entrada con la nueva señal. Estos filtros son de respuesta impulsional finita o FIR (Finite Impulse Response).
- El Funcionamiento (b) es retardar una copia de la señal de salida y se combina con la nueva señal de entrada. Estos filtros son de respuesta impulsional infinita o IIR (Infinite Impulse Response). También se pueden denominar recursivos o con feedback.

3.5.1 Filtros FIR

En el caso de un filtro con respuesta impulsional finita (FIR), una muestra de la salida se puede definir como una combinación lineal de muestras de la entrada presentes y pasadas. Podemos expresar esta relación con una ecuación del tipo:

$$Y(n) = a_0 * x(n) + a_1 * x(n - 1) + a_2 * x(n - 2) + \dots + a_n * x(n - N) \quad (3.1)$$

Esta ecuación expresa que la muestra actual de la salida $y(n)$ es igual a la suma de las muestras de la entrada actual $x(n)$ multiplicada por el factor a_0 y de la muestra anterior $x(n-1)$ multiplicada por el factor a_1 , y de todas las muestras anteriores hasta el instante $(n-N)$ multiplicadas por su respectivo factor.

Los factores a_i son los coeficientes del filtro. Modificando estos coeficientes podremos variar de forma drástica las características del filtro. La serie de coeficientes a_0, a_1, \dots constituye la respuesta impulsional del filtro.

De hecho, podemos verificar que la respuesta del filtro a la señal impulso (digital):

$$x = 1, 0, 0, 0, 0, 0, \dots \quad (3.2)$$

es la señal de salida:

$$y = a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_N, 0, 0, 0, \dots \quad (3.3)$$

Lo cual explica la denominación de filtro a respuesta impulsional finita.[15]

3.5.2 Filtros IIR

Los filtros con respuesta impulsional infinita (IIR) se distinguen de los filtros FIR por la presencia de una recursividad: la señal de salida del filtro se reinyecta a la entrada del mismo, constituyendo un circuito recursivo o con feedback. Este método permite implementar filtros con respuesta más compleja y con menos datos. Como inyectamos constantemente energía en el circuito, la respuesta impulsional tiene una duración potencial infinita, y de ahí le viene el nombre.

La ecuación típica de un filtro IIR se expresa de la siguiente manera:

$$Y(n) = a_0 * x(n) + a_1 * x(n - 1) + a_2 * x(n - 2) + \dots + a_n * x(n - N) - b_1 * y(n - 1) - b_2 * y(n - 2) - b_3 * y(n - 3) - \dots - b_M * y(n - M) \quad (3.4)$$

Esta ecuación expresa que la salida es función de $N+1$ muestras de la entrada (actual y N anteriores), así como de M muestras anteriores de salida.[15]

3.6 Descripción del software utilizado

3.6.1 Altium Designer

Altium Designer consta de todas las herramientas necesarias para producir una PCB desde el concepto hasta la fabricación. Un conjunto de editores de diseño integrales reside en un único entorno global que permite el intercambio continuo de datos de diseño entre ellos. Ya sea que esté capturando un esquema, diseñando una PCB o revisando las limitaciones de MCAD, realmente es una experiencia única que proporciona un flujo de trabajo de electrónica natural.[1]

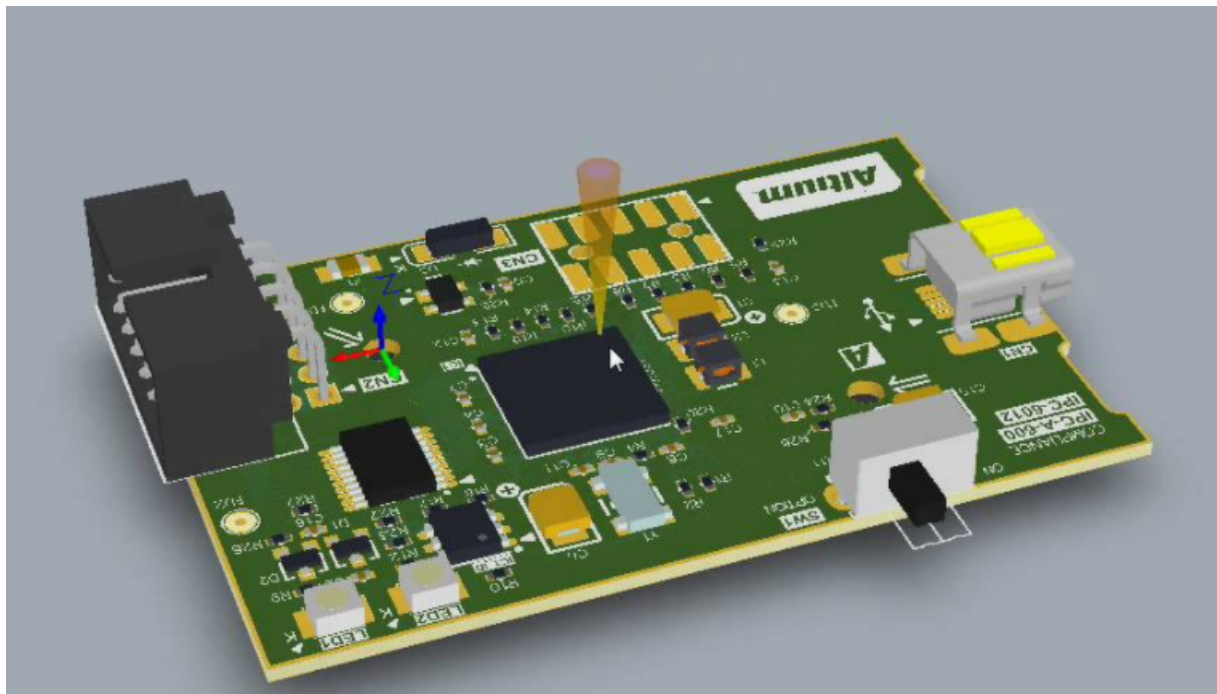


Figura 3.10: Diseño en 3 dimensiones realizado con Altium Designer.

3.6.2 Simplicity Studio

Simplicity Studio simplifica el proceso de desarrollo de IoT con acceso con un solo clic a todo lo que los desarrolladores necesitan para completar sus proyectos usando un entorno de desarrollo integrado (IDE) basado en Eclipse 4.5. Simplicity Studio incluye un potente conjunto de herramientas para el perfil de energía, configuración y análisis de redes inalámbricas, así como demostraciones, ejemplos de software, documentación completa, soporte técnico y foros comunitarios. Estas herramientas y funciones integradas se combinan para hacer que el desarrollo integrado sea simple y productivo para desarrolladores de IoT de todos los niveles de habilidad. Simplicity Studio proporciona inteligencia incorporada para detectar automáticamente la MCU de 8 o 32 bits conectada o SoC inalámbrico, configurar gráficamente el dispositivo y mostrar opciones de configuración compatibles para ayudar a los desarrolladores a poner en marcha sus proyectos en minutos.[14]

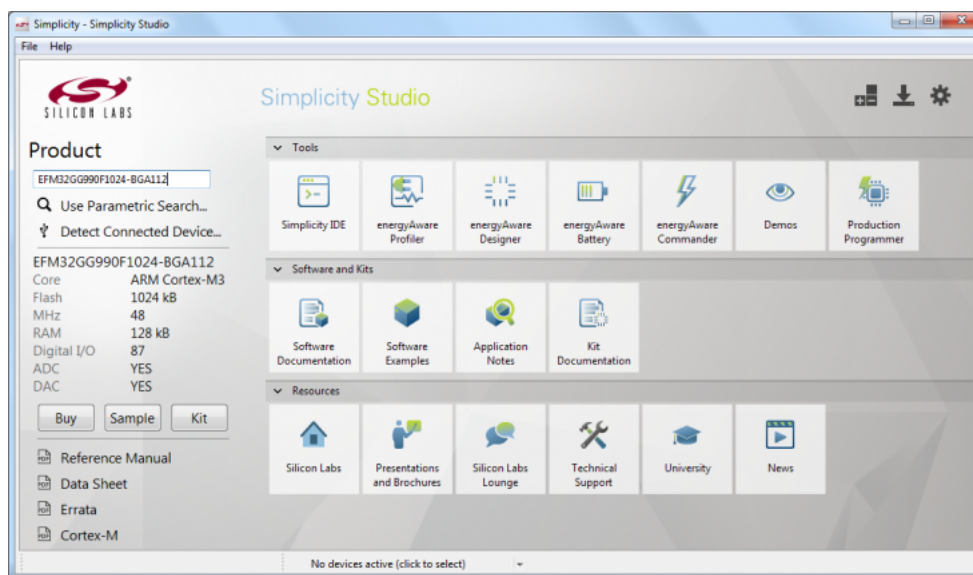


Figura 3.11: Interfaz del software Simplicity Studio.

3.6.3 NI Labview 2017

LabVIEW simplifica la integración de hardware, así usted puede adquirir y visualizar juegos de datos rápidamente desde prácticamente cualquier dispositivo de E/S, ya sea de NI o de terceros. Combinado con una sintaxis de programación gráfica que reduce el tiempo de programación, LabVIEW 2017 simplifica el desarrollo de sistemas complejos con herramientas e IP a la vanguardia de la tecnología de hoy en día.[10]

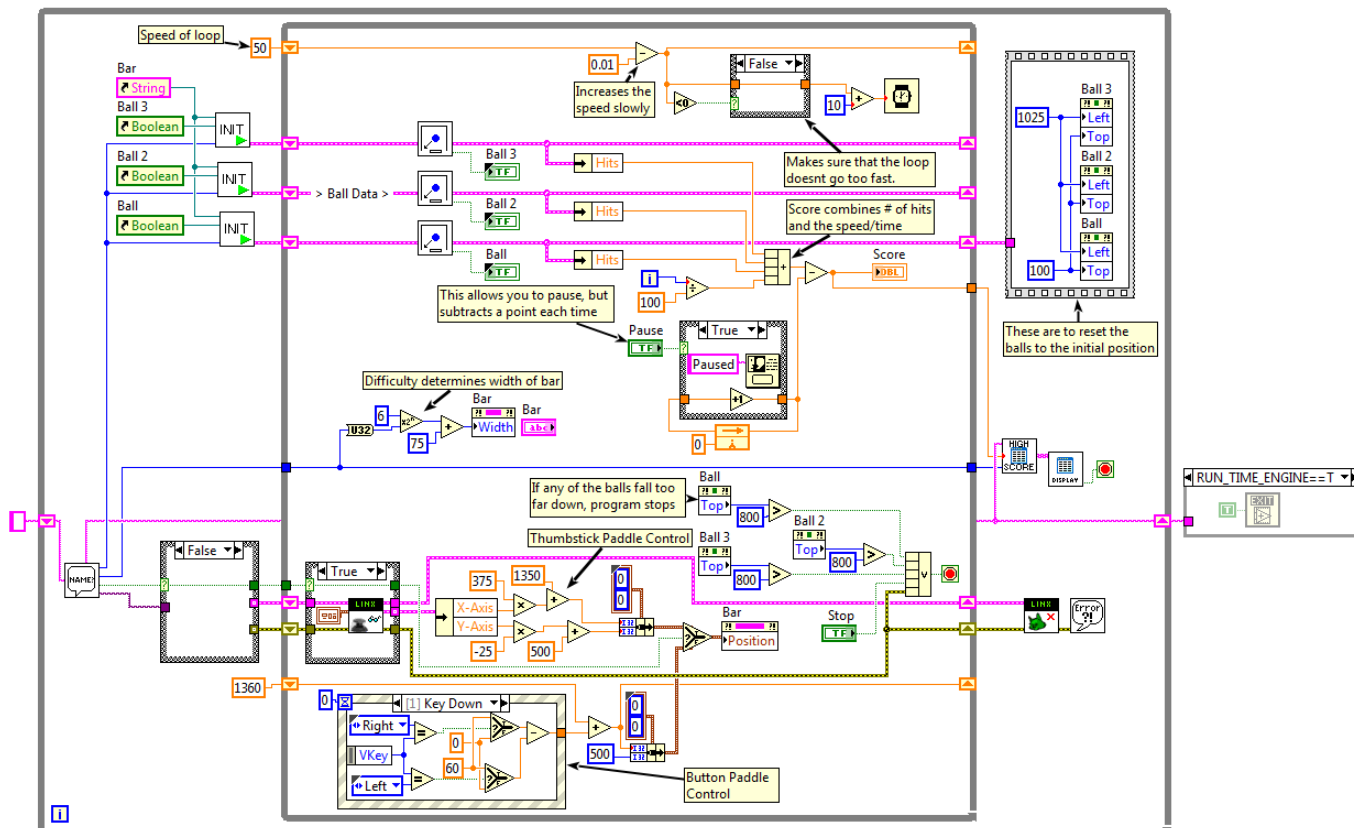


Figura 3.12: Entorno algorítmico NI LabView (Video juego Pong).

Capítulo 4

Procedimiento y Metodología

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para el reconocimiento del problema se realizó una reunión programada en las instalaciones de Monitec, empresa del Señor Carlos Cordero, asesor de la empresa en este proyecto, la reunión fue en la Uruca, donde se brindó información sobre la necesidad y los antecedentes del proyecto.

En esta reunión se destacó el hecho de que el proyecto va dedicado a niños con recursos limitados los cuales no pueden obtener los estimuladores invasivos, por ende, el proyecto es bastante accesible y no se planea una ganancia masiva de este, aparte de esto se habló de la versión anterior y que esta ya no está en funcionamiento.

Se comunicó también la necesidad que terapeutas de lenguaje le habían dicho al Señor Carlos, ya que tuvieron contacto con el prototipo anterior (creado hace 20 años) y les fue de bastante ayuda. Este dispositivo contaba con 2 vibradores del tamaño de una palma de la mano y solo filtraba los sonidos en medios y bajos, funcionaba por completo de manera analógica y en su tiempo fue bastante caro de realizar.

4.2 Obtención y análisis de información

La información obtenida se realizó por medio de una investigación acerca de la terapia de lenguaje y los estimuladores vibro táctiles, cómo se implementan y los beneficios que estos dan. Se investiga también el filtrado digital y las ventajas que podría dar al proyecto en cuestión, estas investigaciones se hicieron visitando páginas confiables de internet y libros sobre filtración digital y su teoría.

Esta información ayudó a la decisión sobre soluciones probables y a delimitar los alcances

que se podrían tener con el proyecto, además, con esta información se habla con el asesor de la empresa para discutir las necesidades que presenta la empresa con el dispositivo a realizar.

Esta reunión delimitó por completo el proyecto y con el área de trabajo bien definida, se puede empezar a trabajar en soluciones varias y a subdividir las tareas próximas para el planteo del trabajo.

4.3 Evaluación de alternativas y síntesis de una solución

Se inicia planteando soluciones sin medición o simulación, realizando una lluvia de ideas, con limitantes de dinero y tiempo se descartan algunas soluciones y las que se consideran viables hasta decantarse por una de estas.

Con la solución general planteada, se empieza a simular las secciones de hardware, hasta depurar el circuito final realizado, se realizan mediciones con base en los datos del fabricante de cada uno de los componentes que se desean utilizar, también se investiga sobre las protecciones de los componentes, alimentaciones y temperaturas, para que los detalles de cada uno calcen de la mejor manera, por orden del asesor, se utilizan solo componentes de [Digi-key.com](https://www.digikey.com), esto para poder comprar en masa, cuando se de a lugar la producción de esta revisión.

Se analizan opciones para el programa de computadora, se recolecta información sobre diferentes lenguajes y entornos de programación, con la información y el conocimiento adquirido en filtración desde antes se selecciona lo mejor para esta revisión, teniendo en cuenta otras opciones para próximas revisiones del producto.

4.4 Implementación de la solución

Para la solución planteada de este proyecto, se decide realizar una separación de esta en 3 secciones, que en sumatoria sería el proyecto completo, luego de esto, se unen estas partes y se realizan pruebas de funcionamiento de cada sección. En estas secciones se obvian las partes de curva de aprendizaje, ya que esta se realiza en cada una de estas, en distintos temas, pero siempre está presente, aparte de esto se acuerdan reuniones con el asesor de la empresa para mantener el norte del proyecto en todo momento.

Se dividirá la solución en:

- Creación del PCB
- Programación del firmware
- Programa de computadora

4.4.1 Creación del PCB

- Desarrollar el esquemático y sus respectivas simulaciones de funcionamiento, siempre que sea necesario.
- Definir el tamaño del impreso además de la cantidad de caras que este tendrá.
- Crear el PCB respetando las medidas e intentando optimizar al máximo el tamaño utilizado.
- Definir revisiones del impreso antes de enviarlo a fabricación en China.

4.4.2 Programación del firmware

- Desarrollar la programación de las de control necesarias en el hardware, para que este funcione.
- Crear la programación de las señales de salida ya sea analógico o con PWM.
- Cumplir la estructura de la figura 1.2 y acomodar las secciones en un programa general.
- Realizar pruebas en la tarjeta creada.

4.4.3 Programa de computadora

- Crear un algoritmo de acuerdo a la figura 1.3 que cumpla con ese diagrama de flujo.
- Desarrollar la división de bandas en las que se filtrará la voz.
- Diseñar filtros digitales adecuados para el uso en el algoritmo.
- Realizar pruebas de datos enviados vía usb.

4.5 Reevaluación y rediseños

4.5.1 Reevaluación

A mediados del proyecto de graduación se toma una reunión con el asesor de la empresa para delimitar varias variables del proyecto y se toma la decisión de hacer un cambio de objetivos en el uso de un microprocesador para el filtrado de las señales, tomando en cuenta que la programación también puede hacerse en el computador y que realizarlo en hardware solo agregaría tiempo de realización, mas no, enriquecimiento del proyecto.

Se envía una notificación a los lectores sobre esto y se cambia uno de los objetivos iniciales.

4.5.2 Rediseño 1

En primera instancia se empieza a crear un sistema de adquisición de datos con el micrófono, para esto se utiliza un ADC modelo ADS1115 por tener conexión con el OMEGA2 (luego sería cambiado en el diseño), luego se descarta por estar fuera de las necesidades del proyecto y por cambios de objetivo.

4.5.3 Rediseño 2

En la adquisición de los datos desde el micrófono, se necesitaría un filtro antialiasing, para este se decide utilizar un amplificador operacional de modelo AD8055 como filtros, pero con el cambio de objetivo y por apartarse de lo que necesita el proyecto, esto fue eliminado del diseño final.

4.5.4 Rediseño 3

Al principio el proyecto tendría un microprocesador OMEGA para realizar el filtrado, pero este diseño entorpecía el desarrollo y se volvía costoso para la empresa, se cambia de objetivos y esta sección se separa del proyecto.

4.5.5 Rediseño 4

En las primeras partes del diseño se planea una entrada de poder única, que sería el micro USB, luego al realizar los cálculos de potencia de los vibradores, se toma la decisión de colocar una fuente externa de poder, para alimentar estos.

4.5.6 Rediseño 5

En la salida del microprocesador se deben colocar amplificadores que tomen las señales PWM y les den potencia para hacer funcionar los estimuladores vibro-táctiles, estos amplificadores en primera instancia fueron operacionales con una ganancia establecida, estos fueron un fallo y bastante impredecibles, se cambian por amplificadores integrados que vuelven el diseño más estable.

4.5.7 Rediseño 6

Se realiza el primer diseño del PCB a utilizar, con unos actuadores en forma de cilindros que fueron cambiados posteriormente por precio y por potencia utilizada, aparte de esto, el diseño del PCB emulaba la forma de una mano, esto fue descartado por precios de fabricación y errores existentes en el diseño del PCB final, este diseño se muestra en la figura 4.1.



Figura 4.1: Diseño de un PCB con un esbozo de mano en él (Modelo en 3D).

Capítulo 5

Estimulador Vibro Táctil

5.1 Descripción del Hardware

Esta sección de la solución es un dispositivo que toma las señales desde el computador y las traduce para ser utilizadas con los actuadores.

En la tabla 5.1 se muestran todos los componentes utilizados para el hardware y la cantidad de utilización, además de una pequeña descripción.

A continuación se muestran los diferentes pasos para lograr el hardware del proyecto:

Tabla 5.1: Componentes utilizados en el proyecto

Componentes	Cantidad	Utilidad
PJ-102A	1	Jack de entrada de potencia para el dispositivo completo
MIC5365	1	Transformador de voltaje de 5V a 3.3V
Micro USB	1	Entrada de datos provenientes del computador
CP2102	1	Integrado que realiza un cambio de comunicación USB a comunicación UART
EFM8LB12F64E-B-QFN24	1	Microprocesador Laser bee
IS31AP4991	1	Amplificador de la señal de salida del microprocesador
Speakers piezo-eléctricos	5	Utilizados como vibradores con una baja frecuencia
Capacitores	33	Usos varios
Resistores	18	Usos varios
Diodos	3	Usados para protección e indicación en el circuito

5.1.1 Diseño esquemático

En esta sección se presenta el circuito esquemático del proyecto y cada uno de los sub-circuitos que lo complementan, además del porqué de la utilización de los componentes.

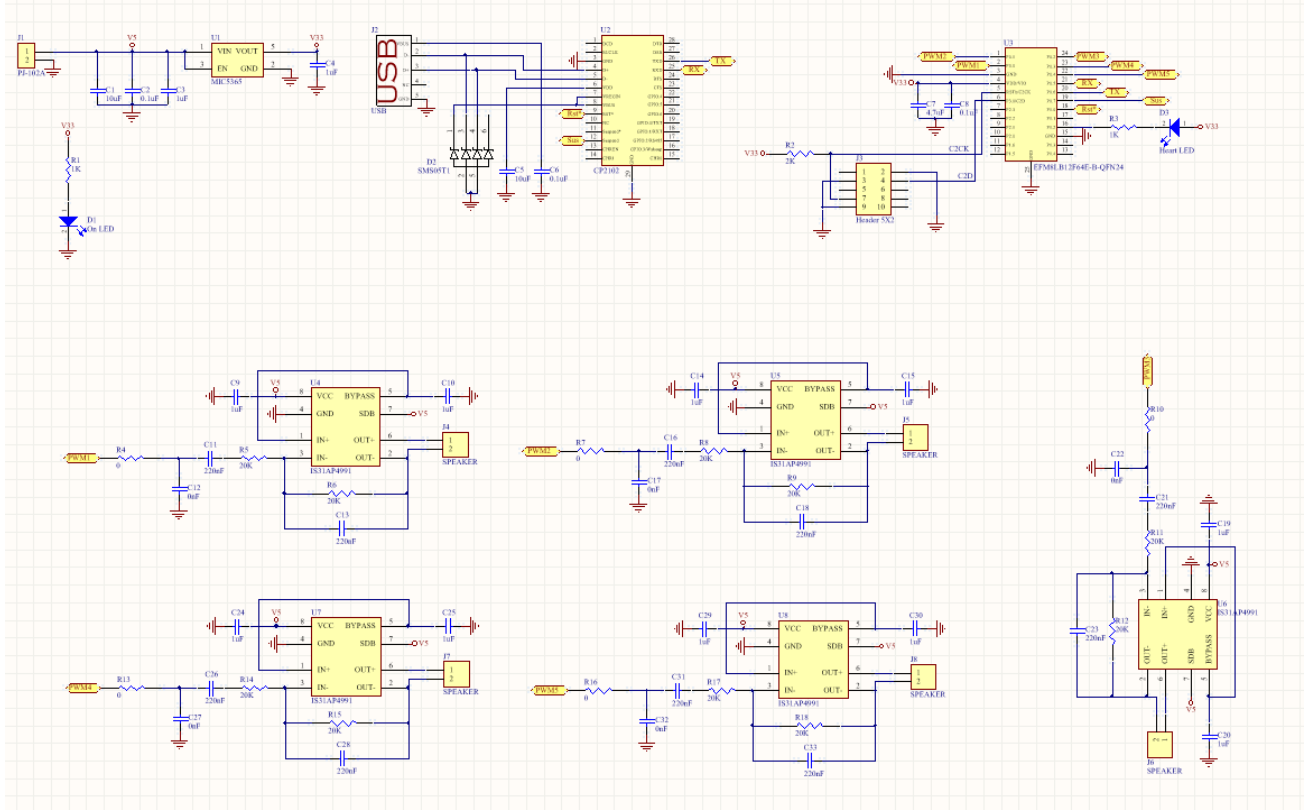


Figura 5.1: Circuito esquemático completo

Circuito de alimentación

Por el Jack de alimentación entra el voltaje que proviene de un cargador de pared, como es llamado, se conecta con 3 capacitores que son de protección, luego de esto se conecta al transformador para ajustar también el voltaje de 3.3V [9] y a la salida de este se conecta a un capacitor de protección entre la alimentación y la tierra.

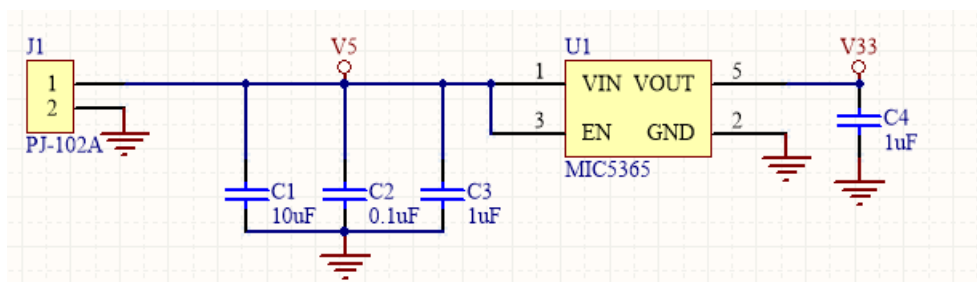


Figura 5.2: Circuito de alimentación

Circuito del Led de encendido

Este circuito es para confirmar el encendido del dispositivo, se conecta en serio un LED y una resistencia de 1 Kohm, esta última como protección para el Led.

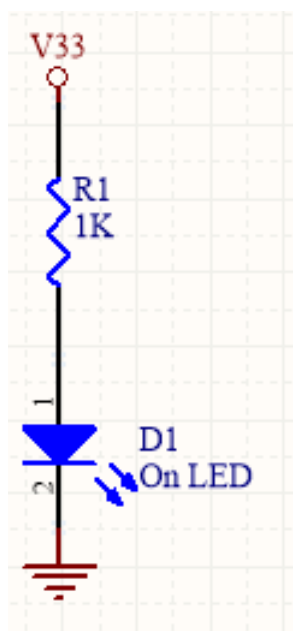


Figura 5.3: Circuito de aviso de encendido

Circuito de transformación de la señal USB

Entran las señales desde la conexión micro USB y se dirigen al CP2102 para que este traduzca este tipo de comunicación en UART [12], antes pasando por un banco de diodos de protección para los datos D+ y D-, también por un par de capacitores de protección para el CP2102. Este circuito también recibe las señales de control reset y suspend de parte del microprocesador y envía el RX y el TX con los datos provenientes del computador.

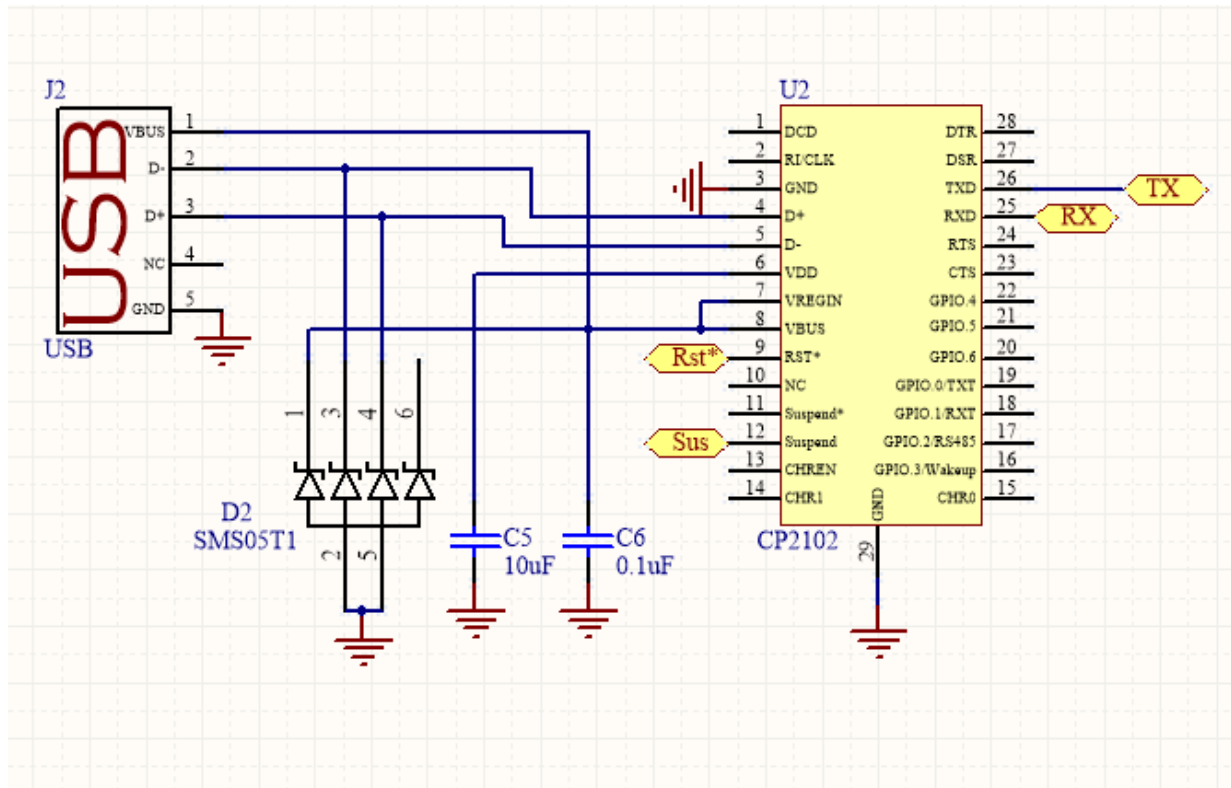


Figura 5.4: Circuito de comunicación USB

Circuito del microprocesador

El microprocesador es de la familia Laser Bee de Silicon Labs, exactamente un EFM8LB12F64E-B-QFN24, su alimentación es de 3.3V, a él se conecta un header que servirá de programador del dispositivo, posee un par de capacitores de protección de los valores indicados por el fabricante [13] y tiene como salida los distintos PWM de cada uno de los actuadores, además de la salida a un “Heart Led”, así llamado para comprobar que el microprocesador está en funcionamiento.

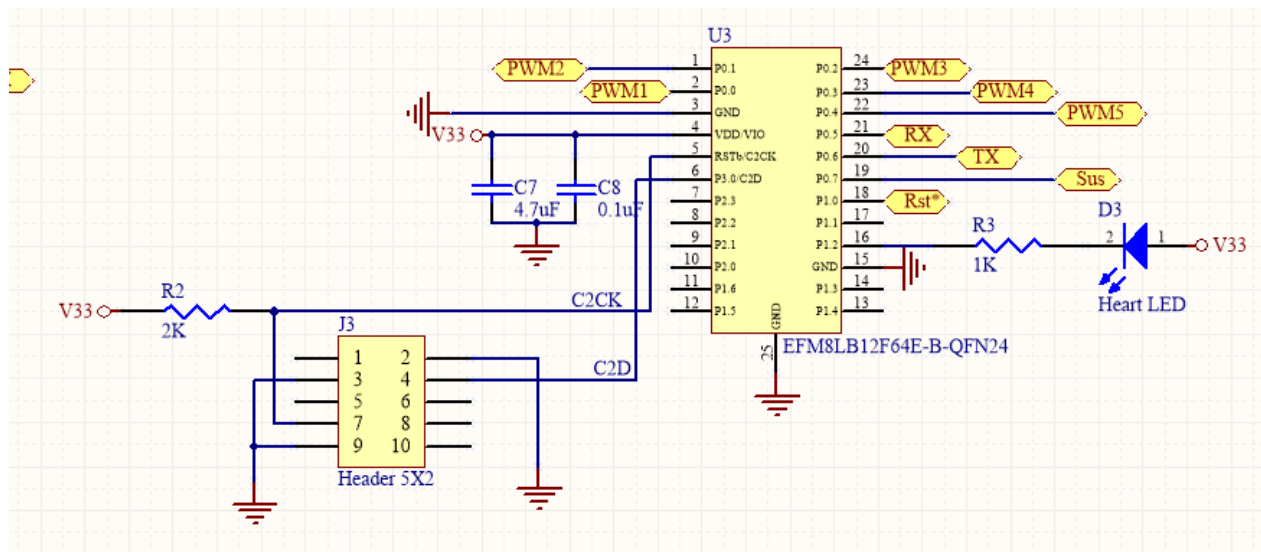


Figura 5.5: Circuito del microprocesador

Circuito de amplificación de salida

Este tiene como entrada el PWM que proviene del microprocesador, las resistencias y capacitores que tiene, están en formato de amplificación como dicta el productor [11] en la hoja de datos, además, se coloca un capacitor de protección entre 5V y tierra. La señal amplificada va hacia los actuadores del circuito.

El circuito de la figura 5.6 se repite para cada uno de los dedos de la mano, por esto se

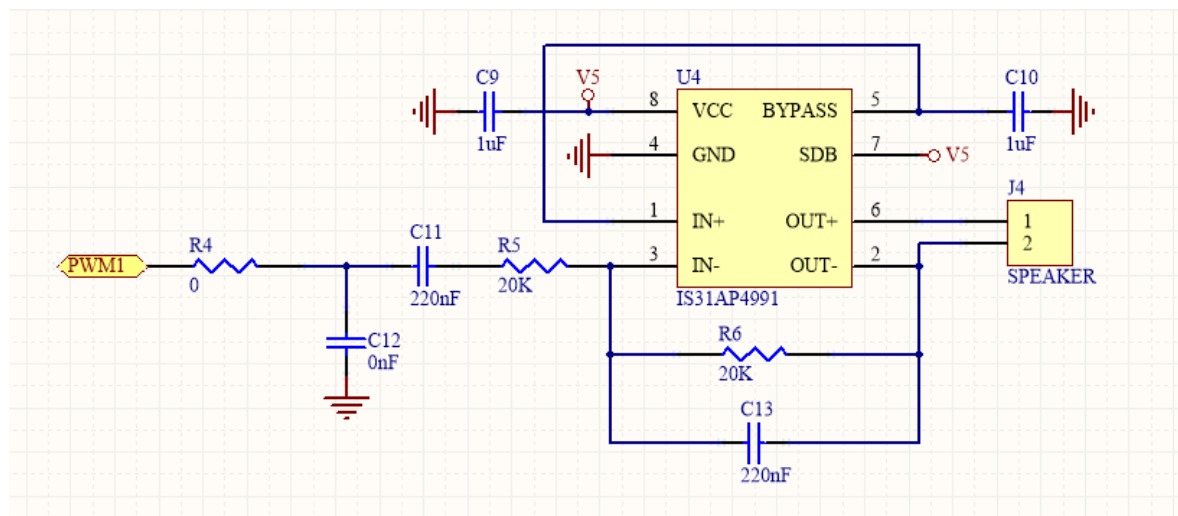


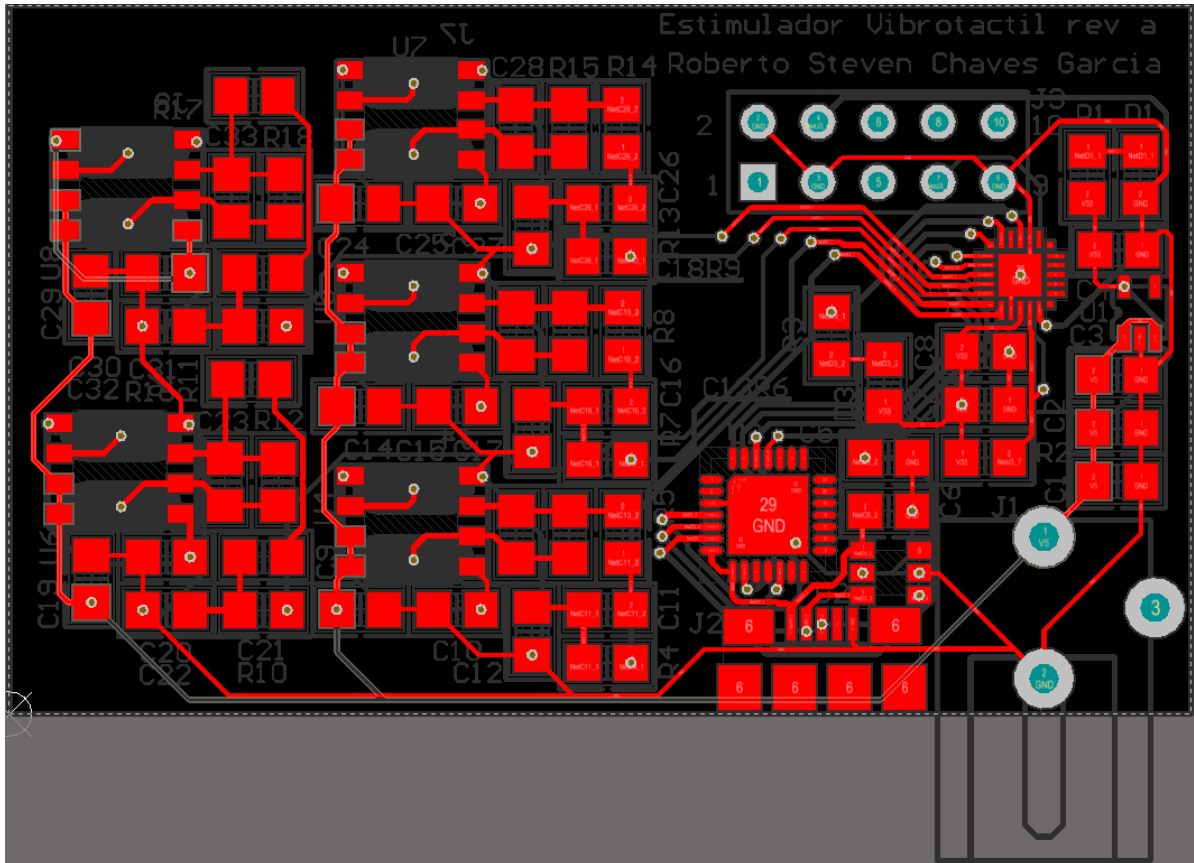
Figura 5.6: Circuito de amplificación

debe utilizar una fuente de poder externa a la alimentación USB.

5.1.2 Diseño PCB

El circuito impreso tiene unas medidas de 30x50 mm, cada sección de circuitos fueron colocados lo más cercanos posible y los capacitores de protección de cada uno de ellos también, para evitar problemas con señales externas o ajenas al circuito.

Todos los componentes fueron colocados de una sola cara del PCB y se unieron lo más que



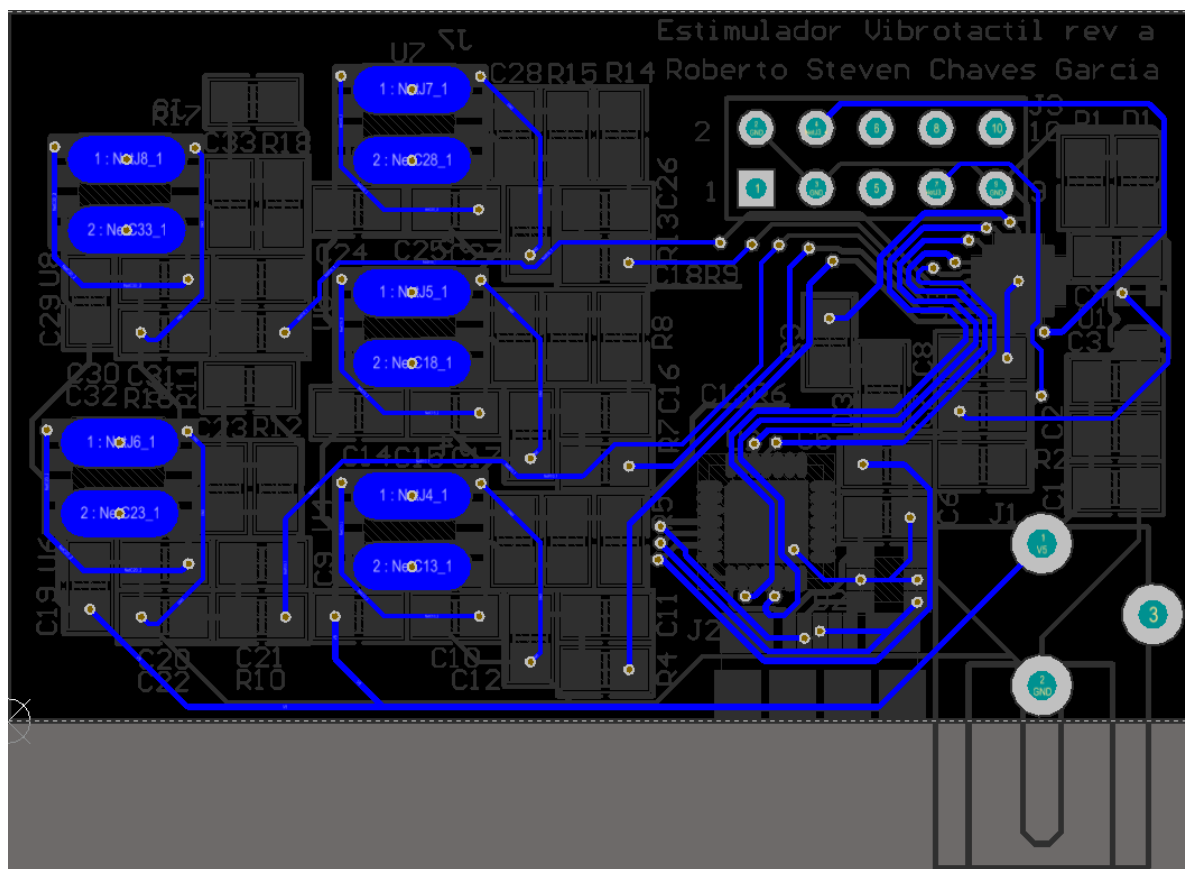


Figura 5.8: Visión inferior del diseño del PCB

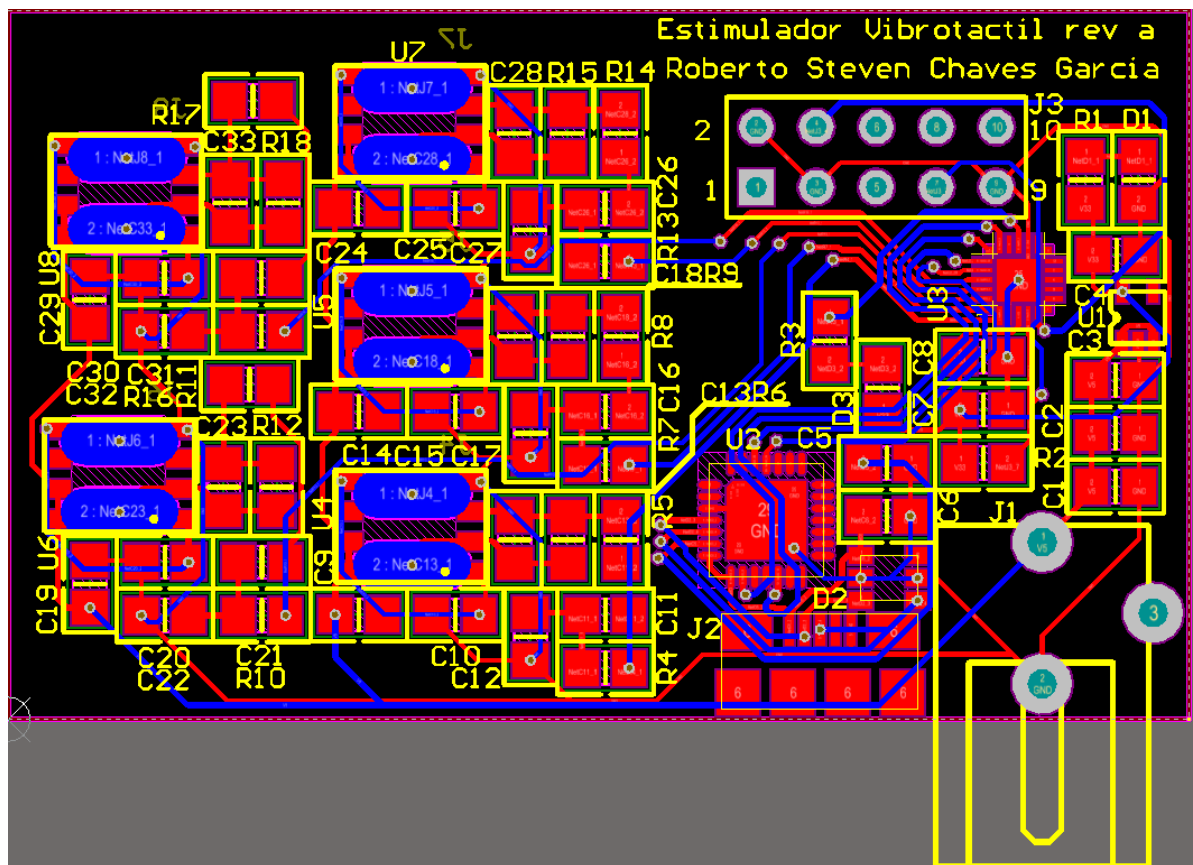


Figura 5.9: Imagen completa del diseño del PCB

5.1.3 Diseño del Firmware

Conexión UART

En esta sección del programa se crea un “buffer” de 5 caracteres, donde vendría cada una de las señales a activar, se obtiene cada uno de estos y se corrobora el dato, en este caso como vienen solo caracteres de la A a la Z en mayúscula, se crea una función que cambia esto para que solo sean mayúsculas y evitar problemas de lectura.

De haber algún error, se crea una función de transferencia de error, ya sea en paridad o en lo recibido, esto para adecuar y corregir lo que sea necesario.

```

UART1_initWithAutobaud(UART1.BRPRESCALER_01, UART1.STOPLN_SHORT,
                        UART1.FEATURE_DISABLE, UART1.PARITY_ODD, UART1.RX_ENABLE,
                        UART1.RX_CROSSBAR, UART1.MULTIPROC_DISABLE);
UART1_initTxFifo(UART1.TXTHRS_ZERO, UART1.TXFIFOINT_DISABLE);
UART1_initRxFifo(UART1.RXTHRS_ZERO, UART1.RXTIMEOUT_16,
                 UART1.RXFIFOINT_ENABLE);

    if ((UART1_rxBytesRemaining() == 0)
        && (UART1_txBytesRemaining() == 0)) {
        UART1_readBuffer(buffer, BUFFER_LENGTH);
    }
void UART1_receiveCompleteCb() {
    uint8_t i;
    unsigned char byte;

    for (i = 0; i < BUFFER_LENGTH; i++) {
        byte = buffer[i];

        // if lower case letter
        if ((byte >= 'a') && (byte <= 'z')) {
            byte -= 32;
        }

        buffer[i] = byte;
    }
    UART1_writeBuffer(buffer, BUFFER_LENGTH);
}

void UART1_transmitCompleteCb() {
}

void UART1_transferErrorCb(uint8_t error) {
    if (error & UART1_PARITY_EF) {
        errorCount++;
    }
    if (error & UART1_RXOVR_EF) {
        errorCount++;
    }
}

```

División de la señal

Los datos del buffer creado son divididos para la comparación y activación de los distintos PWM, si el caracter que se encuentra en alguna de las posiciones es una B, quiere decir que este canal del PWM se debe activar.

```
byte0 = buffer[0];
byte1 = buffer[1];
byte2 = buffer[2];
byte3 = buffer[3];
byte4 = buffer[4];
//Comparacion de lo leido en el buffer para encender el PWM
if (byte0 == 'B') {
    CEX0_Compare_Value = Duty_Cycle;
} else {
    CEX0_Compare_Value = 0;
}
if (byte1 == 'B') {
    CEX1_Compare_Value = Duty_Cycle;
} else {
    CEX1_Compare_Value = 0;
}
if (byte2 == 'B') {
    CEX2_Compare_Value = Duty_Cycle;
} else {
    CEX2_Compare_Value = 0;
}
if (byte3 == 'B') {
    CEX3_Compare_Value = Duty_Cycle;
} else {
    CEX3_Compare_Value = 0;
}
if (byte4 == 'B') {
    CEX4_Compare_Value = Duty_Cycle;
} else {
    CEX4_Compare_Value = 0;
}
```

PWM

Contiene un delay de 120 conteos para prepararse, luego inicia con el falco creciente, en el que acomoda los registros necesarios, toma cada uno de los ciclos y según los cálculos de conteos de reloj se van disminuyendo para completar el ciclo de trabajo, luego de esto, se cambia de flaco y este duraría sumando cada ciclo al número a comparar hasta llegar al máximo, con lo que acabaría el ciclo del PWM.

```

    for (delay_count = 120; delay_count > 0; delay_count--)
        ;

    if (duty_direction == 1)                // Direction =
        Increase
        {
            // First, check the ECOM0 bit
            if ((PCA0CPM0 & PCA0CPM0.ECOM_BMASK) ==
                PCA0CPM0.ECOM_DISABLED) {
                PCA0CPM0 |= PCA0CPM0.ECOM_BMASK;    // Set
                ECOM0 if it is '0'
            } else                                // Increase duty
                cycle otherwise
            {
                CEX0_Compare_Value--;              //
                Increase duty cycle

                if (CEX0_Compare_Value == 0x0000) {
                    duty_direction = 0;            // Change
                    direction for next time
                }
            }
        } else                                // Direction =
        Decrease
        {
            if (CEX0_Compare_Value == 0xFFFF) {
                PCA0CPM0 &= ~PCA0CPM0.ECOM_BMASK; // Clear
                ECOM0
                duty_direction = 1;                // Change
                direction for next time
            } else {
                CEX0_Compare_Value++;              //
                Decrease duty cycle
            }
        }
    }

```

Creación de la señal senoidal

Se crea un PWM de muy poca velocidad, al querer generar vibración para los actuadores, se toma que el mayor de los armónicos de una onda cuadrada es una función de seno, como la de la figura 5.10, con esto en mente se crea la onda como se muestra en el siguiente cuadro de código:

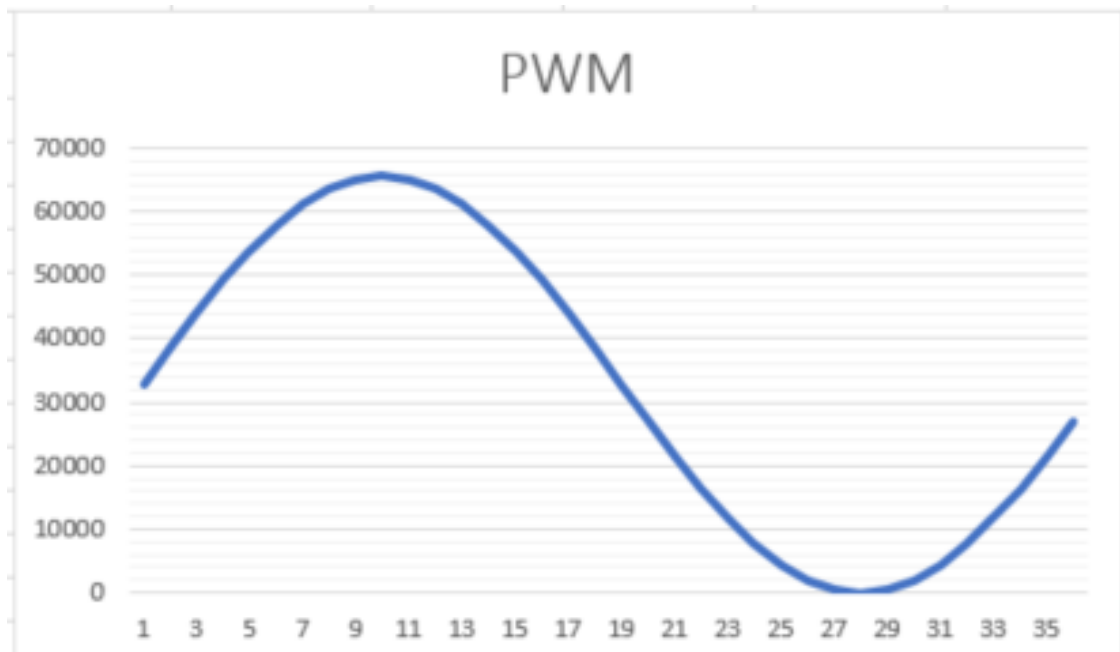


Figura 5.10: Simulación PWM

```

if (byte0 == 'B') {
    for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
        HLED = 0;
        CEX0_Compare_Value = 0;
    }
    for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
        HLED = 1;
        CEX0_Compare_Value = 1;
    }
} else {
    CEX0_Compare_Value = 0;
}
if (byte1 == 'B') {
    for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
        HLED = 0;
        CEX1_Compare_Value = 0;
    }
    for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
        HLED = 1;
        CEX1_Compare_Value = 1;
    }
} else {

```

```

        CEX1_Compare_Value = 0;
    }
    if (byte2 == 'B') {
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 0;
            CEX2_Compare_Value = 0;
        }
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 1;
            CEX2_Compare_Value = 1;
        }
    } else {
        CEX2_Compare_Value = 0;
    }
    if (byte3 == 'B') {
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 0;
            CEX3_Compare_Value = 0;
        }
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 1;
            CEX3_Compare_Value = 1;
        }
    } else {
        CEX3_Compare_Value = 0;
    }
    if (byte4 == 'B') {
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 0;
            CEX4_Compare_Value = 0;
        }
        for (delay_count = 4095; delay_count > 0; delay_count--){
            HLED = 1;
            CEX4_Compare_Value = 1;
        }
    } else {
        CEX4_Compare_Value = 0;
    }
}

```

Se analiza primero si el caracter de entrada habilita el PWM, luego de esto se crean un par de flancos, se activa la salida de ese canal y se envía la señal completa.

Señales de control y demás

Se inicializan las señales de control para el CP2102 y se coloca la señal del Heart Led que indicará el buen funcionamiento del microprocesador, estas señales se inician directamente y se colocan valores inmediatos por agilidad de la programación.

```
sbit HLED = P1 ^ 2;                                     //Heart Led para
    pruebas
sbit rst = P1 ^ 0;                                       //Reset negado del
    CP2102
sbit sspnd = P0 ^ 7;                                     //Suspend del
    CP2102

//Heart led, suspend y reset del micro
HLED = 0;
rst = 0;
sspnd = 0;
// Wait
for (delay_count = 1200; delay_count > 0; delay_count--)
    ;
HLED = 1;
rst = 1;
// Wait
for (delay_count = 1200; delay_count > 0; delay_count--)
    ;
HLED = 0;
```

5.2 Descripción del Software

Este programa de computadora se realiza en NI LabView, por las oportunidades que brinda en el campo del trato de señales, digitales o no, en la figura 5.11 se observa el código completo, en los siguientes apartados se especificará cada una de sus partes y cómo se llegó a eso.

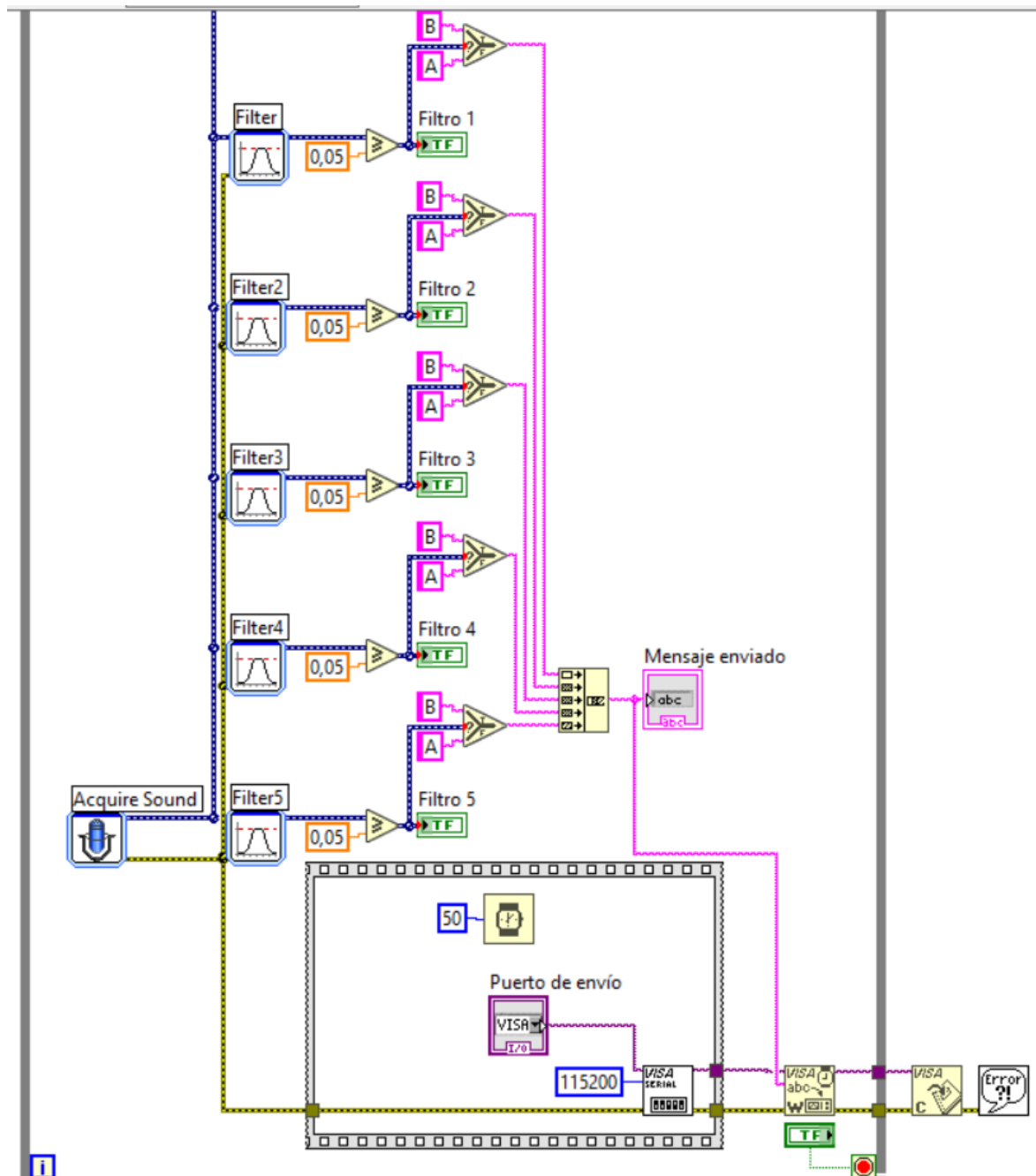


Figura 5.11: Programación completa de la aplicación

5.2.1 Definición de bandas

Se escogen los rangos de bandas, estos basados en las bandas en las que habla una persona promedio, entre los 250Hz y los 3000Hz, con esto se divide en los 5 dedos equitativamente las frecuencias, como se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: División de bandas

Dedo de la mano	Rango de bandas (Hz)
Pulgar	250-800
Índice	800-1350
Corazón	1350-1900
Anular	1900-2450
Meñique	2450-3000

5.2.2 Filtrado

Para el VI se debe seleccionar los datos del filtro, como; el parámetro de ventana, el tipo de filtro, la señal de entrada, la frecuencia de muestreo, la frecuencia de corte baja, la frecuencia de corte alta, la cantidad de taps y la ventana.

Con estos datos se realiza el filtrado que se mostrará en resultados del proyecto.

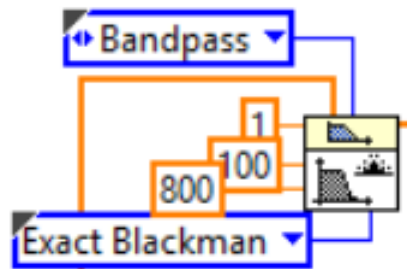


Figura 5.12: Programación para filtro FIR

5.2.3 Preparación del mensaje

El mensaje se efectúa cuando la magnitud de alguna de las bandas filtradas excede un valor empírico, en este caso se envía una “B”, de lo contrario se envía una “A”, se colocan todos los datos en un string para concatenarlos en el envío y se muestran en la aplicación.

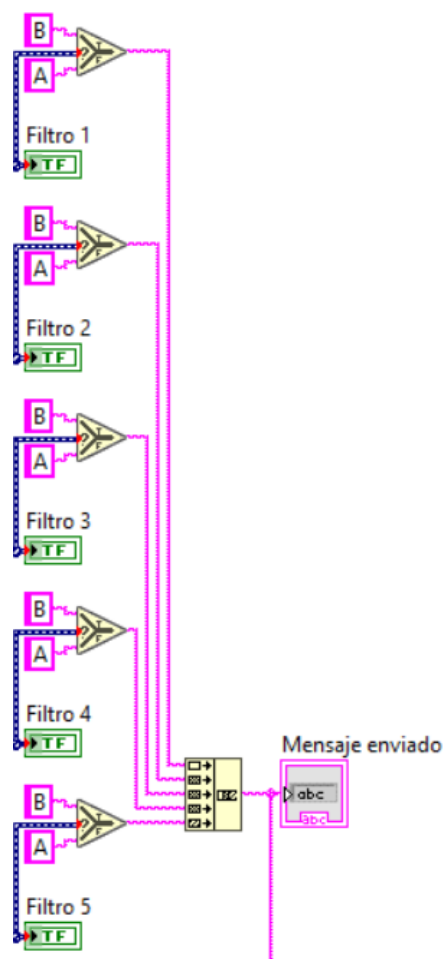


Figura 5.13: Preparación del mensaje

5.2.4 Apertura del puerto

Se coloca un delay en esta sección para poder preparar el mensaje de envío, luego de esto se ajusta el puerto de envío y con una constante se coloca el ratio de baudios en la comunicación USB.

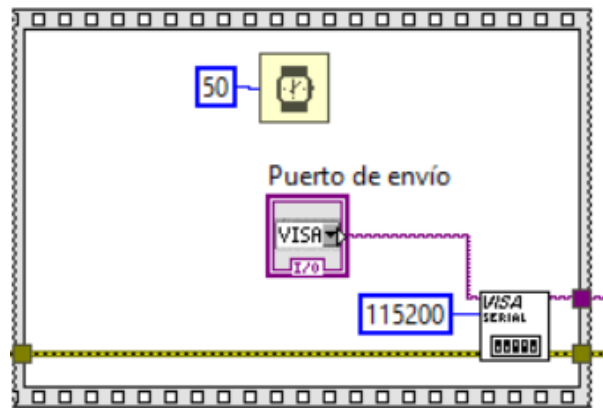


Figura 5.14: Apertura de puerto

5.2.5 Cierre y finalización

El mensaje en string se coloca para enviar al USB y cuando esto es efectivo se sale de la programación, se cierra el puerto para evitar problema en el hardware y termina de efectuarse la aplicación.

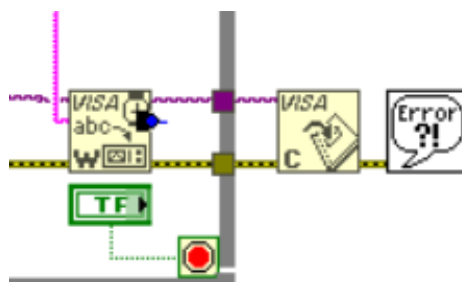


Figura 5.15: Cierre del puerto

Capítulo 6

Resultados y Análisis

6.1 Resultados

6.1.1 Del Software

La aplicación de computadora, se presenta como se ve en la figura 6.1, donde la sección 1 es de indicadores para saber el funcionamiento de cada filtro y la sección 2 es el mensaje enviado vía USB.

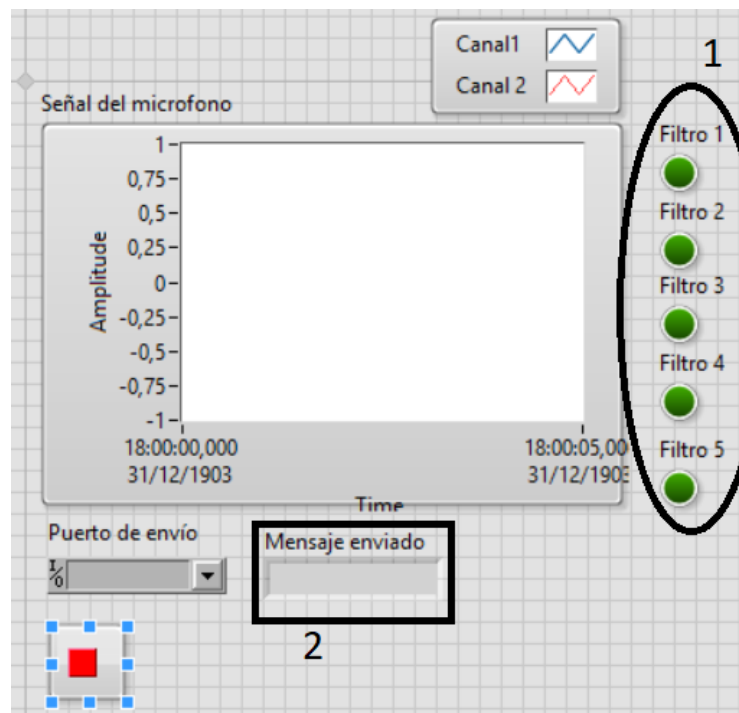


Figura 6.1: Vista principal de la aplicación

Se realizan pruebas de cada uno de los filtros, con trazados del filtrado en magnitud y en fase, para hacer una descripción de cada uno de los filtros. A continuación, se presenta cada una de la gráficas de filtro y sus respectivas descripciones.

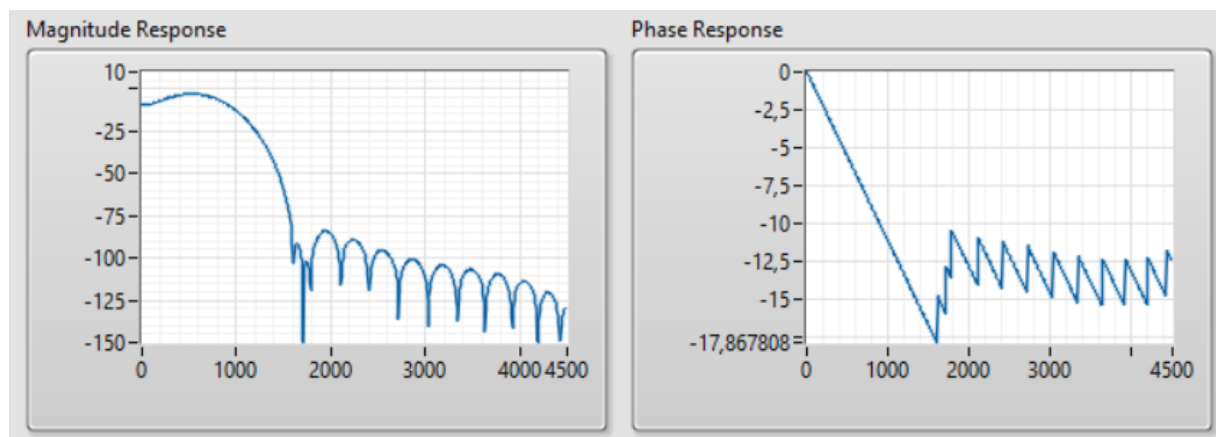


Figura 6.2: Filtro 1: de 250Hz a 800Hz

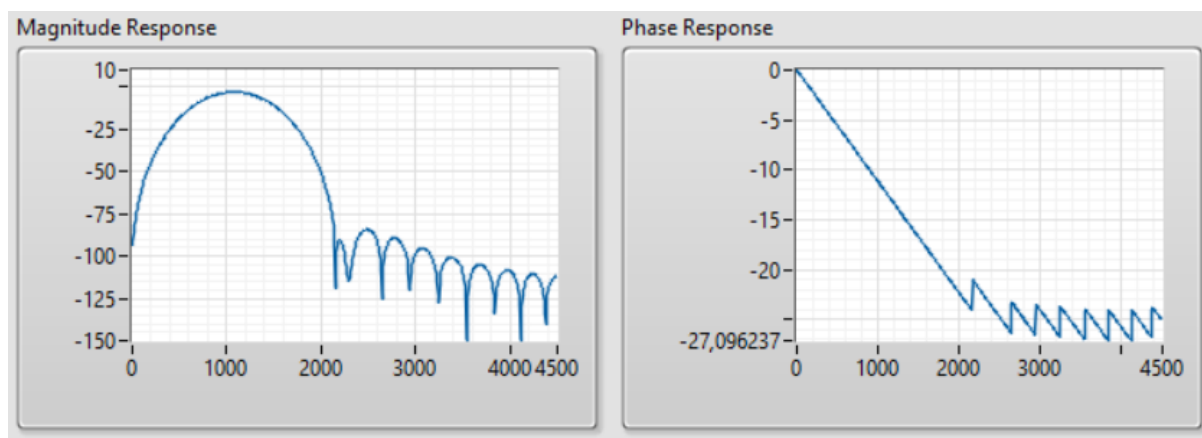


Figura 6.3: Filtro 2: de 800Hz a 1350Hz

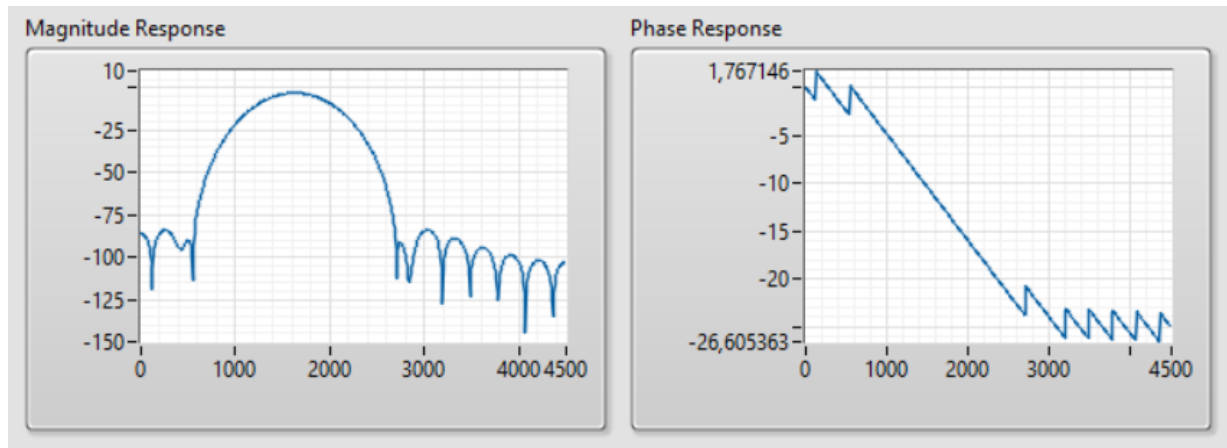


Figura 6.4: Filtro 3: de 1350Hz a 1900Hz

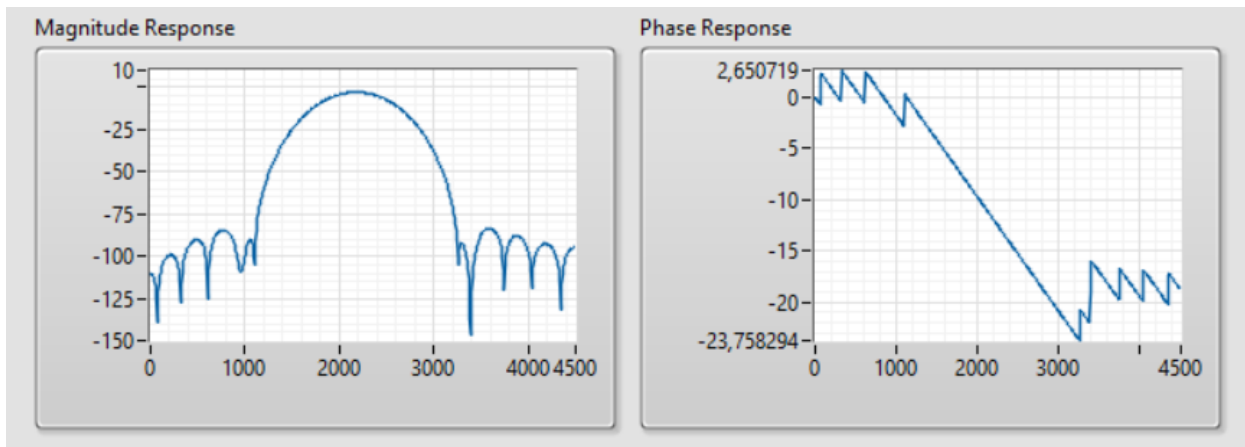


Figura 6.5: Filtro 4: de 1900Hz a 2450Hz

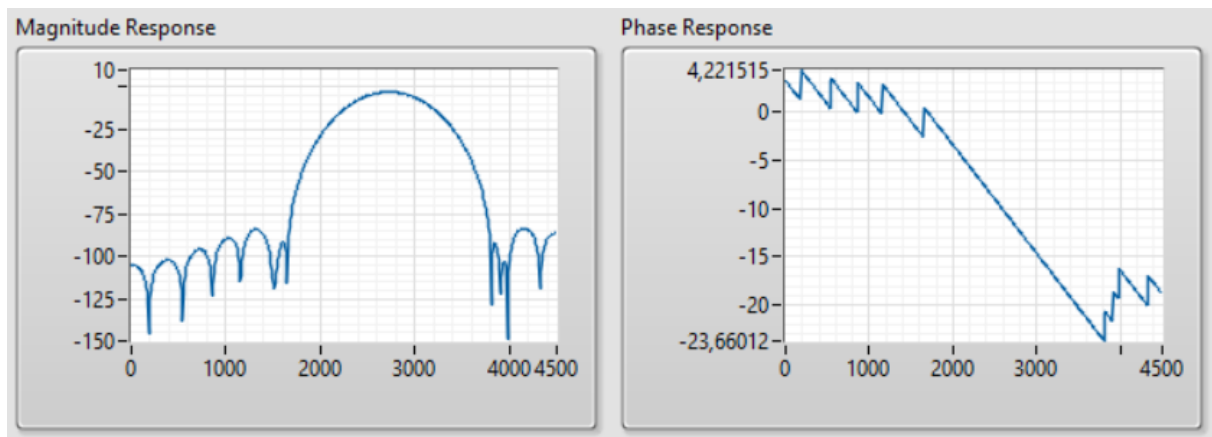


Figura 6.6: Filtro 5: de 2450Hz a 3000Hz

Con una aplicación estándar se realiza una emisión de frecuencias predeterminadas para observar el comportamiento real de los filtros, colocando estas en el micrófono del computador, la tabla 6.1 presenta el comportamiento que tienen los indicadores con cada una de las frecuencias indicadas.

En la Tabla 6.2 se observa la mayor variación de cada uno de los mensajes que se envían

Tabla 6.1: Comportamiento de los filtros

Frecuencia (Hz)	Comportamiento
250	Parpadeo del filtro 1
500	Variación en el filtro 1 y 2
1000	Variación de los filtros 2, 3 y 4 sin estar los 3 a la vez
1500	Variación filtros 3, 4 y 5 con parpadeo del filtro 2
2200	Variación de los filtros 4 y 5 con parpadeos del filtro 1
2700	Variación de los filtros 4 y 5, predominando el 5
3000	Solo filtro 5

vía USB con cada una de las frecuencias de prueba determinadas, dejando claro que este es el caso de mayor cambio con las frecuencias, ya que están constantemente cambiando.

Tabla 6.2: Mayor variación de envío de mensaje

Frecuencia (Hz)	Mensaje enviado	Mensaje teórico
250	BAAAA	BAAAA
500	BBAAA	BAAAA
1000	ABBAA	ABAAA
1500	AABBA	AABAA
2200	AABBB	AAABA
2700	AAABB	AAAAB
3000	AAAAB	AAAAB

6.1.2 Del Hardware

En la figura 6.7 se observa el PCB de la versión acabada con las cotas colocadas, además, en la figura 6.8 se observa el modelado en tres dimensiones del circuito impreso, junto con los componentes colocados y en la figura 6.9 se observa el dispositivo completo.

Al finalizar el circuito se crea un reporte de hardware por medio del software Altium,

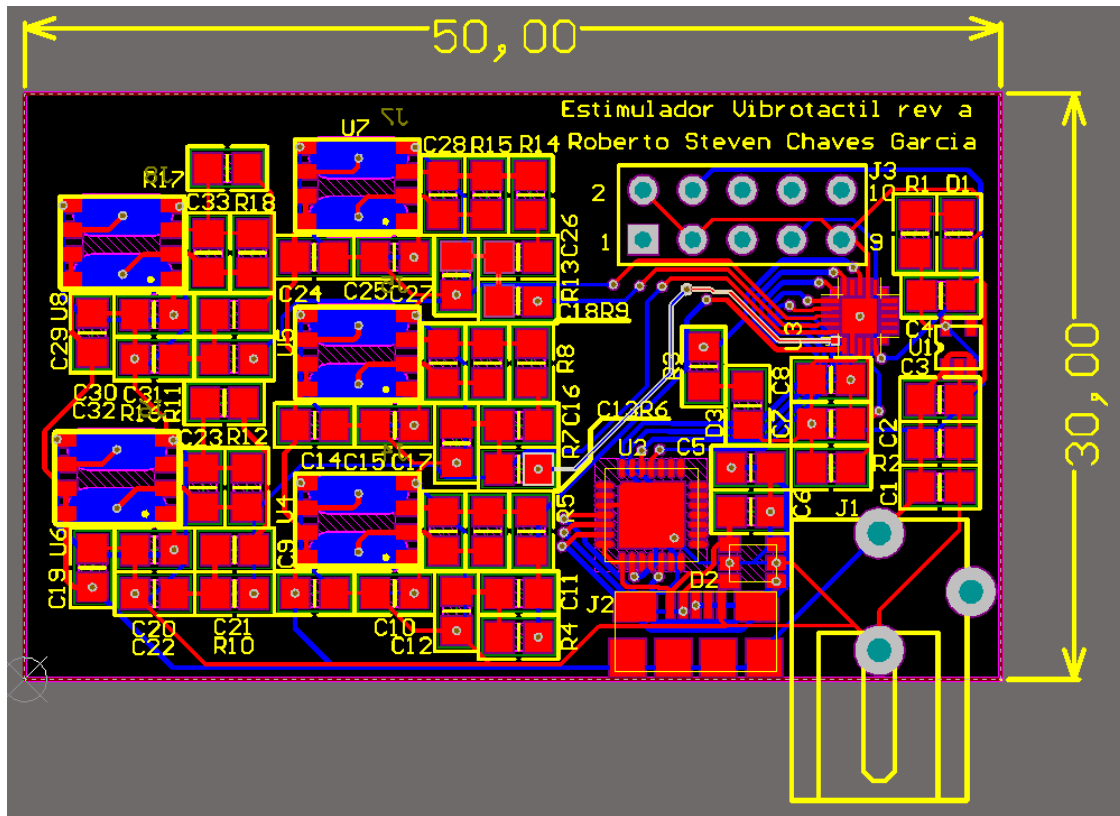


Figura 6.7: Cotas en milímetros junto con el PCB.

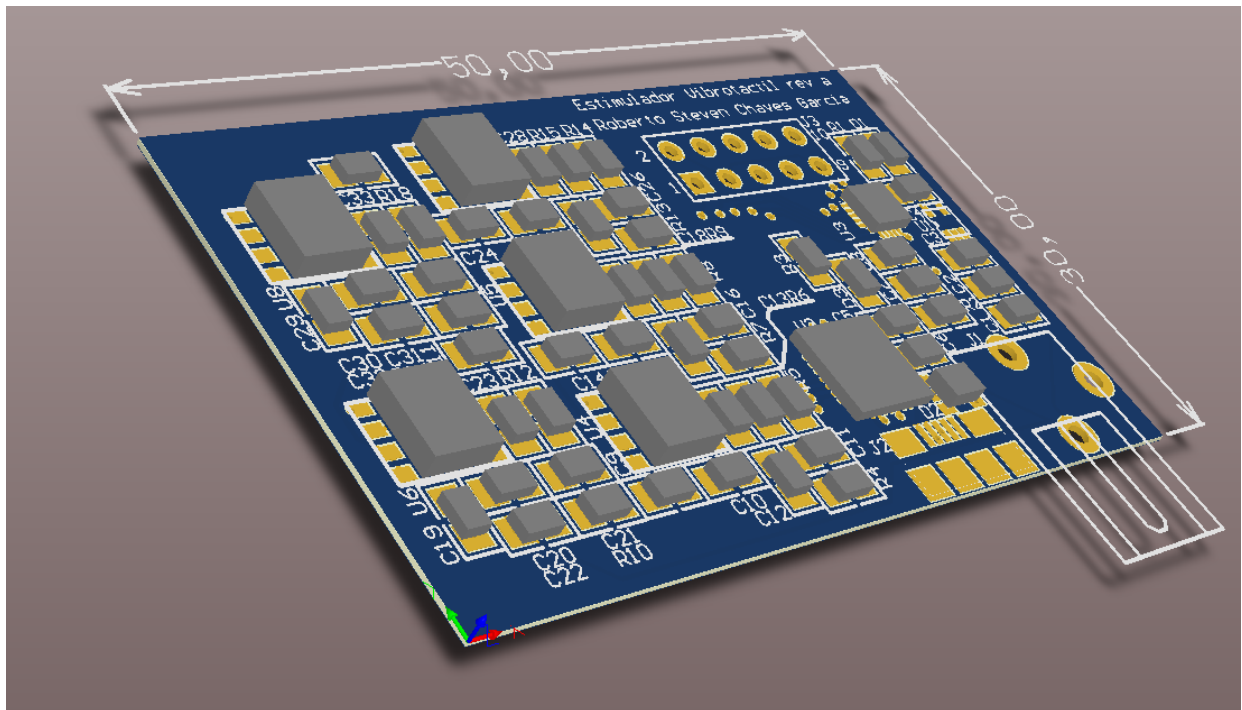


Figura 6.8: Visualización en 3 dimensiones del impreso.

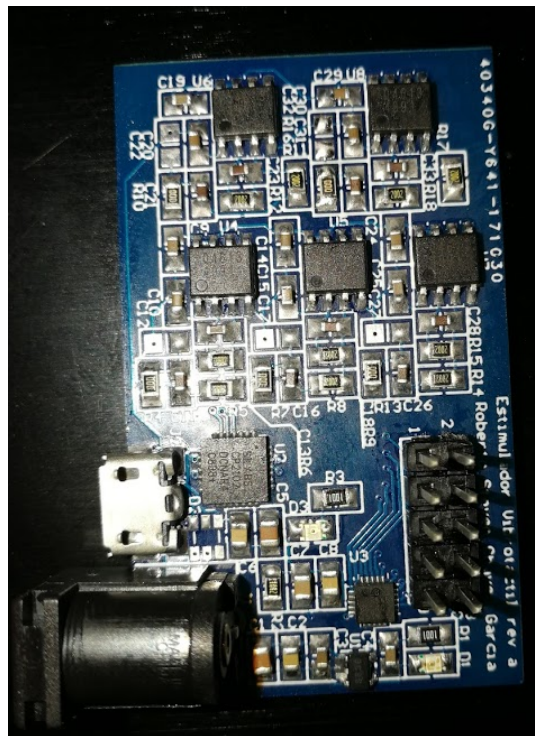


Figura 6.9: Circuito impreso del sistema.

en este se indica tamaño, cantidad de hoyos, rutas y demás información relevante para el fabricante.

Una vez se programa el dispositivo y se utiliza con el programa, se realizan pruebas

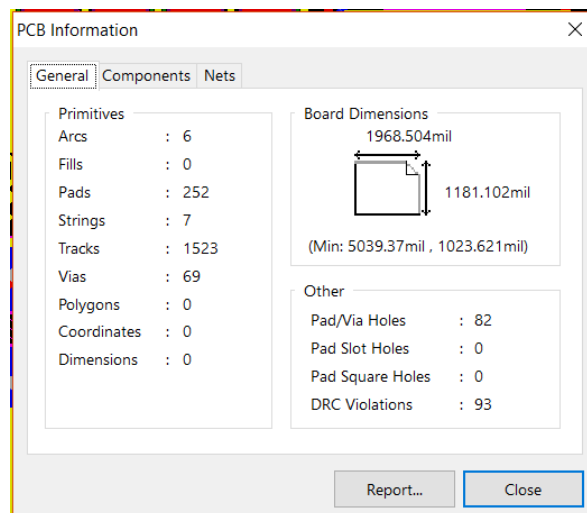


Figura 6.10: Reporte general del PCB.

de laboratorio para saber parámetros básicos del funcionamiento del sistema. Entre estas pruebas está; el máximo voltaje, el voltaje de salida del convertidor, salida intermitente de los pines de señal, la salida del PWM y la salida de los amplificadores, estas como garantía del funcionamiento.

```
TO "FIRMWARE.OMF.CRBUILD" REMOVEUNUSED PRINT(.\\Firmware.m51) PAGEWIDTH (120) 1
*****
* RESTRICTED VERSION WITH 0800H BYTE CODE SIZE LIMIT; USED: 0650H BYTE (78%) *
*****

Program Size: data=40.0 xdata=15 const=0 code=1378
LX51 RUN COMPLETE. 0 WARNING(S), 0 ERROR(S)
Finished building target: Firmware.omf

22:38:57 Build Finished (took 1s.392ms)
```

Figura 6.11: Reporte general del Firmware.

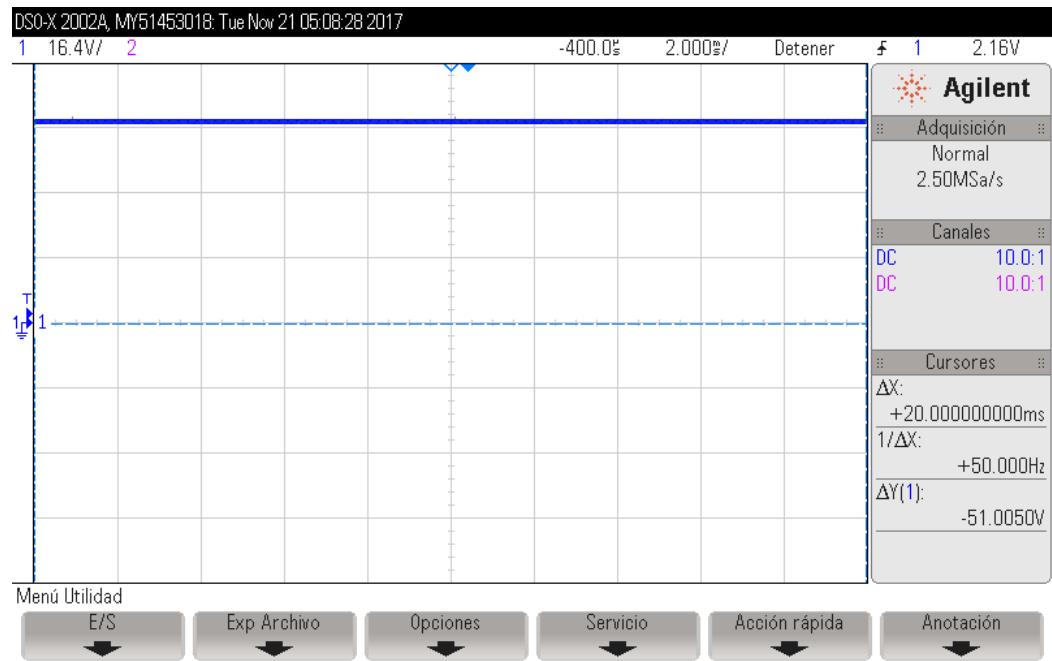


Figura 6.12: Máximo voltaje.

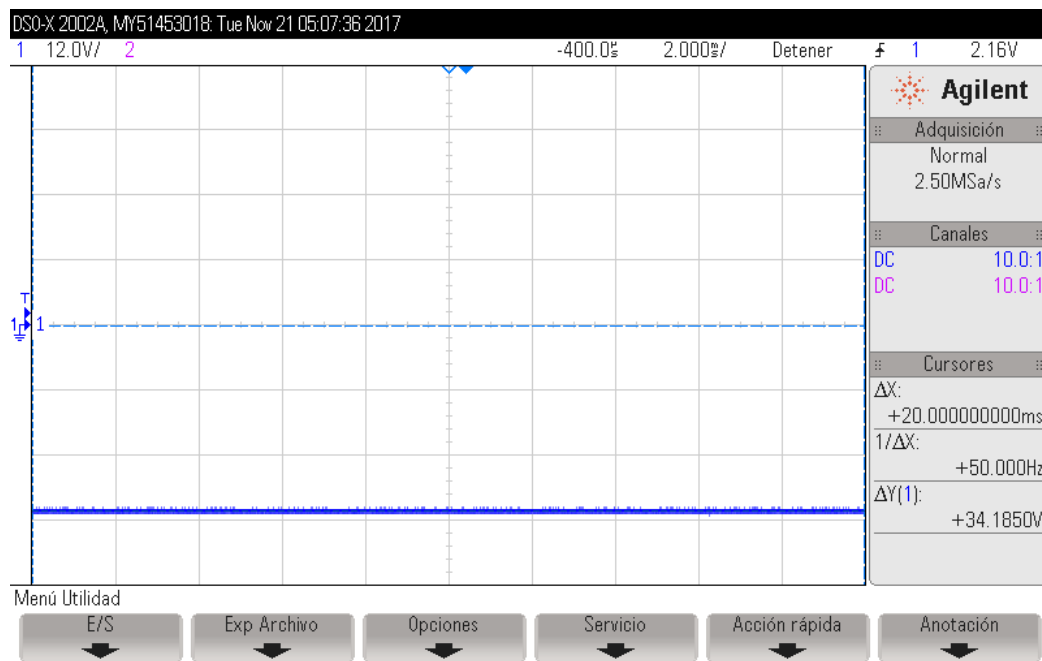


Figura 6.13: Voltaje de alimentación 3.3V.

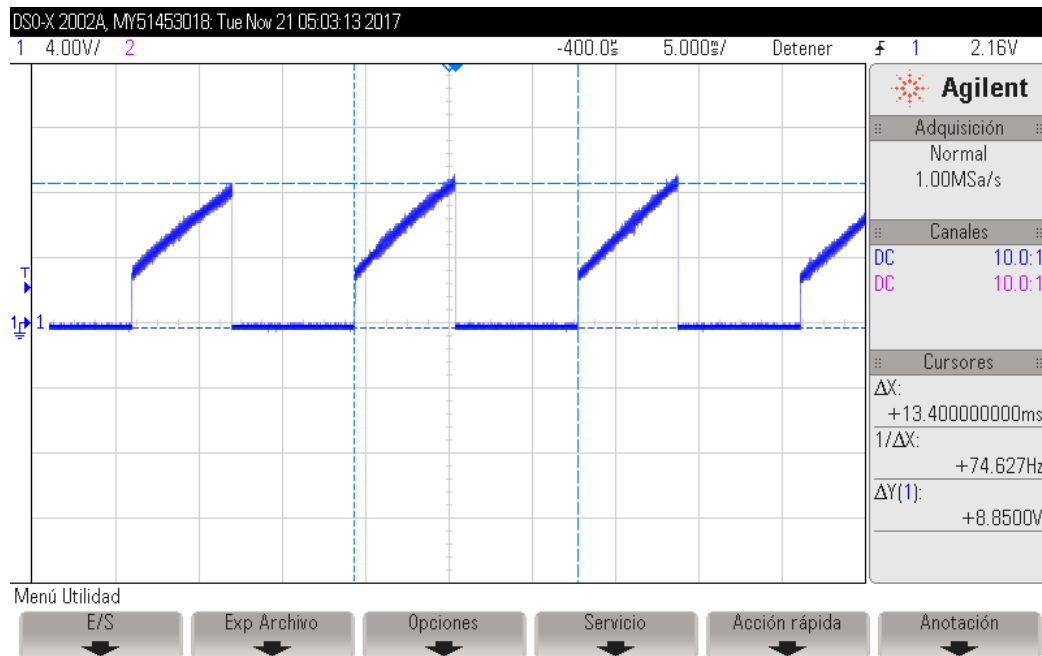


Figura 6.14: Salida intermitente de pines de control.

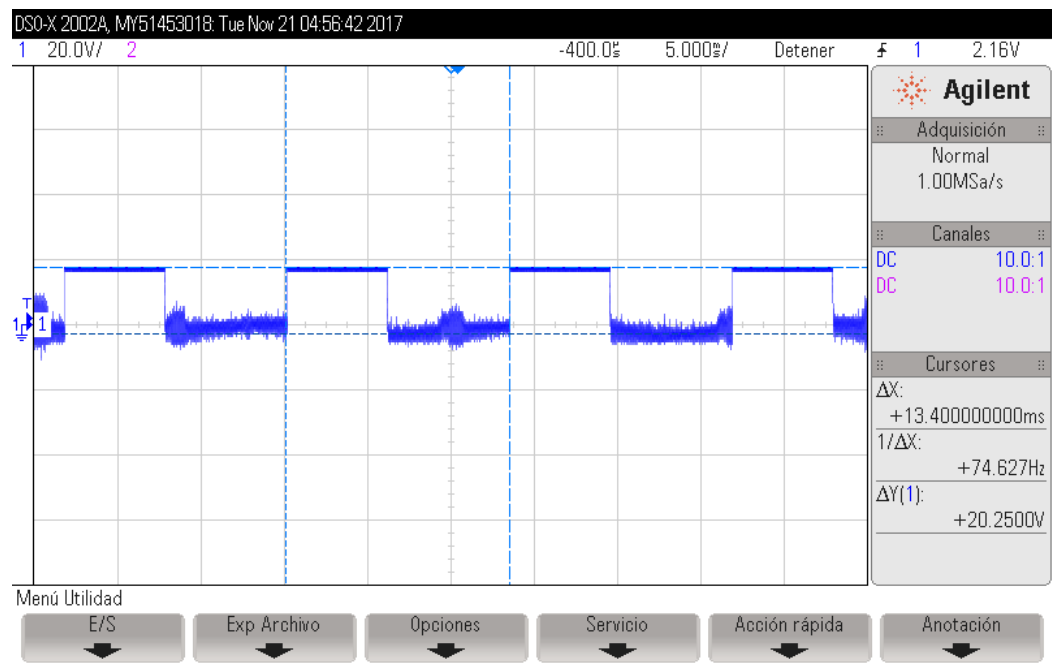


Figura 6.15: Salida PWM del microprocesador.

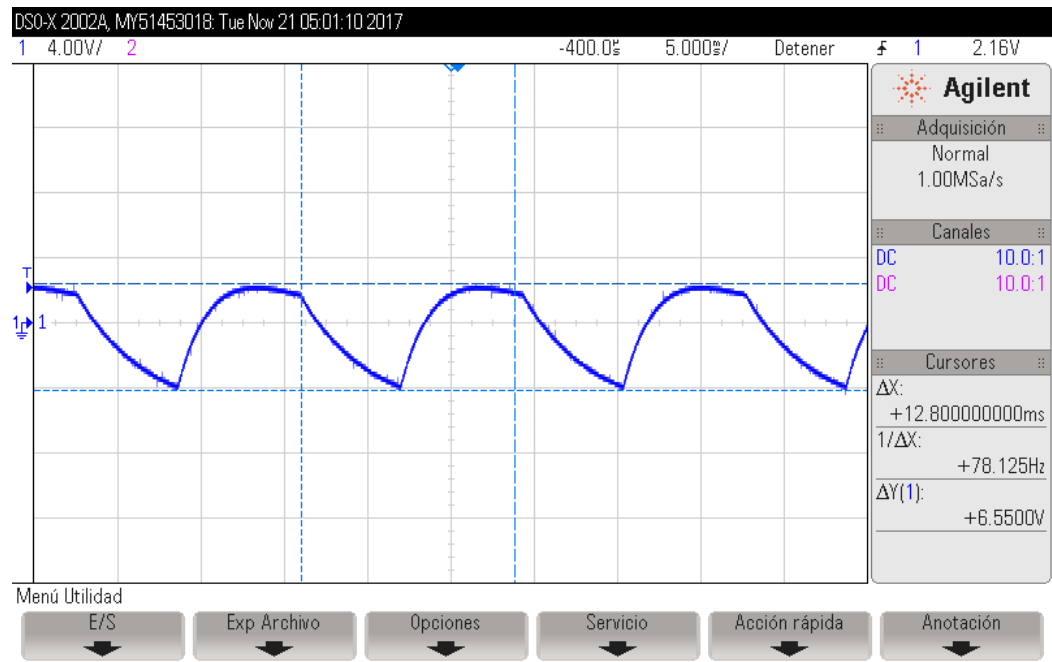


Figura 6.16: Salida de los amplificadores.

6.2 Análisis

6.2.1 Del Software

Filtros

En la figura 6.2 se nota que la curva de filtrado no desciende tan vertiginosamente, esto pasa porque la magnitud se encuentra en decibelios, por ende, empieza a caer lento al parecer pero las frecuencias de corte están al rededor de los -7dB, lo que es suficiente para el filtro deseado, se aprecia que en frecuencias mayores a 1.8kHz el filtro ya no surge efecto, lo que evita problema en los demás filtros.

En la figura 6.3 se nota la curva a ambos lados de la frecuencia central, las frecuencias de corte continúan en la ganancia de -7dB y este filtro deja de surtir efecto a partir de los 2100 Hz aproximadamente, se nota mejor la composición de pasa banda.

En la figura 6.4 se denotan las frecuencias en las que no surte efecto a ambos lados, siendo estas menores a 80 Hz y mayores a 2.7KHz, las frecuencias de corte se encuentran a la misma ganancia de las anteriores.

La figura 6.5 se observa que en las frecuencias menores a 1.1KHz la ganancia es menor a las del otro lado de la gráfica, aunque estas ultimas también presentan una tendencia a disminuir, las frecuencias de corte se encuentran a -7dB y se aprecia un pico de ganancia negativa aproximadamente en 3.3Khz, pero esto no afecta al producto.

Y por último en la figura 6.6 el filtro se comporta de la misma manera, notando que en todos las ganancias en los extremos bajan las magnitudes para evitar traslapes con algún otro filtro cercano, en las gráficas de fase, cada uno muestra un desfase, pero este no afecta a la hora de localizar si hay o no una onda en esa banda, por esto se da mayor importancia a la magnitud y este desfase se puede permitir. Las bandas están divididas de manera que cada uno de los dedos tengan una sección equivalente de frecuencias para la sensibilidad, la correcta división de estas bandas hace que el dispositivo cumpla con parte de uno de los objetivos del proyecto, lográndolo del todo.

Mensaje enviado

Según el compilado de los mensajes enviados vía USB y con la muestra de la tabla 6.2 se muestra que aproximadamente un 82% de los datos son enviados de manera satisfactoria, utilizando la operación 6.1, aun así, hay variaciones en los datos, esto se muestra en la tabla 6.1, causado por sonidos extra en las pruebas o por problemas de la aplicación utilizada, a pesar de esto la señal se logra diferenciar y enviar el string de datos, logrando su cometido.

$$\frac{Datos\text{correctos}}{Datos\text{totales}} * 100 = 82 \quad (6.1)$$

6.2.2 Del Hardware

El circuito impreso contiene la mayoría de componentes del hardware, como se observa en la figura 6.8, solo faltando los actuadores o vibradores, esto ya que en la carcasa del prototipo (sección aparte del proyecto) se deben colocar separados del sistema para que calce en la mano, aun así, se coloca la mayoría de componentes y se utiliza solo un módulo, disminuyendo así las pérdidas y logrando uno de los objetivos que el proyecto se proponía.

El firmware del sistema ocupa un 78% de la memoria del microprocesador, como se ve en la figura 6.11, limitando el dispositivo a creaciones posteriores, ya que el incremento de programación se pasaría del espacio de memoria.

El máximo voltaje del dispositivo, es el de alimentación, en la figura 6.12 se muestra que esta no es de 5 voltios si no de 5.1 V, en la sección canales del osciloscopio se observa que tiene una escala de tensión de 10:1, por esto los voltajes que marca son tan grandes.

En la figura 6.13 se muestra el voltaje del conversor de tensión, en este caso no son 3.3 voltios, si no 3.42V, una diferencia notable, pero que el circuito tolera.

Las señales de control colocadas con una señal intermitente, mostradas en la figura 6.14, se mantienen bien aunque con ruido en 0V, cuando llegan al voltaje máximo muestran una aparente carga, hasta terminar en un pico, donde vuelven a descender a 0V, esta carga tiene apariencia lineal y puede ser causada por las capacitancias, ya que se observa bastante ruido en estas, aún así estas señales no presentan problemas para el dispositivo y para su funcionamiento.

A la salida del PWM, que es distinto para cada uno de los canales, se toma una sola muestra de esto ya que los demás se comportan de la misma manera y para evitar exceso de información sin importancia en este documento, en la figura 6.15, se muestra el PWM que sale del micro, se observa que la frecuencia es de aproximadamente 74Hz, cumpliendo así con uno de los objetivos de este proyecto, la magnitud de esta señal llega hasta los 2V.

Respecto a la forma de onda, se nota bastante ruido en el flanco bajo de la señal y un poco más estable en el flanco alto, esto no afecta al funcionamiento pero debe corregirse para versiones posteriores.

Con la figura de la salida hacia los actuadores (figura 6.16) se toma solo una muestra debido a que las demás se comportan de la misma manera, en esta se nota que la señal se centra a 0 aproximadamente por los amplificadores y su salida diferencial, la frecuencia debería ser aproximadamente la misma que la vista en la figura 6.15, pero varía un poco, probablemente esto es un error en la colocación de los cursores en X, esta señal cambia y no se parece a una

señal cuadrada, es más parecida a media onda senoidal doble, probablemente este efecto sea causado por los ciclos de carga y descarga del capacitor a la salida del amplificador, ya que esta onda tiene mucha similitud con el ciclo carga-descarga de los capacitores, aún cuando la onda varía de esta manera, se supone que esta no cambia demasiado el funcionamiento, dejando claro que para este no se necesita una onda cuadrada o senoidal para funcionar, más bien se ocupa una onda que varíe y haga vibrar el dispositivo con cada banda del habla. Con esto se logran todos los objetivos del proyecto y se da como exitoso.

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- La rápida adquisición de datos, permite que la reacción sea inmediata en el sistema, pero esto causa variaciones mínimas en poco tiempo.
- La recolección de datos por medio del computador permite su filtración en software, pero no deja decidir la sensibilidad que se tendrá en esta.
- El filtrado se muestra satisfactoriamente correcto, superando el límite de los objetivos principales.
- Entre los softwares de desarrollo de aplicaciones se escogió NI LabView por la capacidad de mostrar información en tiempo real y las facilidades de interfaz.
- La comunicación vía USB permite el paso de datos sin necesidad de algún otro adaptador para el computador, facilitando el trabajo del usuario.
- El microprocesador estilo Laser Bee de Silicon Labs, presenta las herramientas justas para la aplicación, pero hace falta explotar su posibilidad IOT.
- El uso de interfaz gráfica facilitaría el trabajo de las terapeutas, mostrando también las acciones con los indicadores.
- El pequeño tamaño del circuito impreso hace que pueda ser empotrado en carcasas de variados tamaños, según la necesidad del usuario.

7.2 Recomendaciones

- Aplicar un control automático, para evitar las variaciones rápidas en el sistema.
- Utilizar un micrófono especializado para voz, con esto se mejora el proceso terapéutico.

- Realizar un programa único del dispositivo y mejorar su apariencia.
- Comunicar el dispositivo vía Bluetooth para evitar cableado y mejorar la estética de este, aunque esto signifique un delay de la señal.
- Utilizar una expansión de memoria o un dispositivo tipo Laser Bee para lograr mayor desarrollo y tener mayor libertad en la utilización de estos (Programación).
- Incrementar las herramientas gráficas para los usuarios terapeutas.

Bibliografía

- [1] Altium. Altium designer [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.altium.com/altium\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}designer/overview>.
- [2] Natalia Calderón Astorga. Terapia de lenguaje [online]. 2005 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.psicopedagogia.com/terapia-lenguaje>.
- [3] Física y Naturales Ciudad universitaria Argentina: Facultad de Ciencias exactas. Oído [online]. 2014 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/anatocom/Biologia/Los%20Sistemas/Nervioso/Periferico/Sentidos/Oido.htm>.
- [4] Universidad Nacional de Colombia. Sentido del tacto [online]. 2012 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL http://froac.manizales.unal.edu.co/froacn/lo/load_lo/aHR0cDovL2Zyb2FjLm1hbml6YWxlcy51bmFsLmVkdS5jby9yb2FwUkFJTS9jb250cm9sL2\Rvd25sb2FkLnBocD9pZD0yNw/U2VudGlkbyBkZWwgdGFjdG86IENvbnRlbmlkbw.
- [5] Ministerio de educación y ciencia español. Vibrotáctiles [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://ares.cnice.mec.es/informes/17/contenido/21.htm>.
- [6] EduMedia. El sentido del tacto [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://www.edumedia\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}sciences.com/es/media/153\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}el\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}sentido\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}del\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}tacto>.
- [7] Emilia Gómez. Introducción al filtrado digital [online]. 2009 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.dtic.upf.edu/~egomez/teaching/sintesi/SPS1/Tema7\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}FiltrosDigitales.pdf>.
- [8] Hearit. El oído: un órgano magnífico [online]. 2009 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://www.hear\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}it.org/es/el\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}oido>.

- [9] Micrel INC. Mic5365 [online]. 2008 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/mic5365.pdf>.
- [10] National Instruments. Ni labview [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>.
- [11] ISSI. Is31ap4991 [online]. 2012 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <http://www.issi.com/WW/pdf/31AP4991.pdf>.
- [12] Silicon Labs. Cp2102 [online]. 2016 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf>.
- [13] Silicon Labs. Efm8lb1 [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/efm8lb1-datasheet.pdf>.
- [14] Silicon Labs. Simplicity studio [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://www.silabs.com/products/development\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}\tools/software/simplicity\protect\discretionary{\char\hyphenchar\font}{\font}\studio>.
- [15] D. Lindner. *Introducción a las señales y los sistemas*. McGraw Hill, 2002.
- [16] Mediline Plus. Problemas de la audición y sordera [online]. 2017 [visitado el 5 de diciembre de 2017]. URL <https://medlineplus.gov/spanish/hearingdisordersanddeafness.html>.